

Aus dem Physiologischen Institut der Johannes Gutenberg-
Universität Mainz

**BIOMECHANISCHE UNTERSUCHUNGSMETHODEN
ZUR BEWEGUNGSANALYSE
UND ZUM TRAINING DES LÄUFERS.**

Inaugural - Dissertation
zur Erlangung der
Doktorwürde der Zahnheilkunde

der Johannes Gutenberg-Universität Mainz,
den medizinischen Fachbereichen

vorgelegt von

Dr. med. D. Fischer aus Berlin

Mainz 1973

Aus dem Physiologischen Institut der Johannes Gutenberg-
Universität Mainz

**BIOMECHANISCHE UNTERSUCHUNGSMETHODEN
ZUR BEWEGUNGSANALYSE
UND ZUM TRAINING DES LÄUFERS.**

Inaugural - Dissertation
zur Erlangung der
Doktorwürde der Zahnheilkunde

der Johannes Gutenberg-Universität Mainz,
den medizinischen Fachbereichen

vorgelegt von

Dr. med. D. Fischer aus Berlin

Mainz 1973



Dekan: Prof. Dr. O. Harth
Referent: Prof. Dr. O. Harth
Korreferent: Prof. Dr. S. Hofmann

INHALTSVERZEICHNIS

	<u>Seite</u>
EINLEITUNG	1 - 3
Geschichte des Laufsports	3 - 5
Empirische Trainingsmethoden und Anleitung	5 - 7
HOKER	5
NETT	6
DYZON	6
CZERNY	7
OSOLIN	7
Wissenschaft in Dienste des Laufsports	
MAREY	8
SCHUPPE	8 - 10
HILL Proportionalitätsfaktoren im Windkanal	10
FURNSAWA	
PARKINSON	
HILL	
Bewegungsgleichung	11
HENRY und TRAFTON	
Geschwindigkeitsmessung mit dem Chronographen	11
Schwerpunktsbestimmungen von FISCHER	11
BASLER	12
ABALAKOW	12
STUKALOW	12
DONSKOIJ	13 - 15
Näherungsverfahren nach HOCHMUTH	15 - 16
Die objektive Bewegungsanalyse des Laufes	
MAREY - Kinematographie mit der Lochkamera -	16
BERNSTEIN - Zyklochronophotographie	16
GROH-BAUMANN - Kombinierte Geschwindigkeits- und Beschleunigungsmessung mit gleichzeitiger Registrierung des Bewegungsablaufes	18 - 19

	<u>Seite</u>
Dynamographische Untersuchungen der Kräfte Kymograph nach CARLET und MAREY	19 - 20
Mechanischer Dynamograph nach HENRY und TRAFTON	20
Ortsfester Dynamograph nach dem DMS-Prinzip von SOLIMANN	21 - 22
Ortsunabhängiger Dynamograph nach dem DMS-PRINZIP von SCHMITZ	23 - 25
 Laufgeschwindigkeitsmessungen	
MAREY	25
Chronographische Messungen von HENRY und TRAFTON, GUNDLACH, BALLREICH	26
Photo cell timing von GREIVE, GEAR und IKAJ (Spinogramme)	26
 Leistungsparameter des Laufes	
Die Schrittlängen und -Frequenzmessungen nach GUNDLACH	28 - 30
Merkmalsbestimmungen von BALLREICH	30 - 34
 Elektromyographische Untersuchungen	
LEBEDJEV	34
RATOW	34
O'CONNELL	35
BASMAJIAN	35
DEBRUNNER	35
 Sprungkrafttest von GEORGESCU	36 - 37
Trainingsmethoden	
Statisches Training nach TSCHUDINOW	38 - 39
Stützphasenuntersuchung von SOLIMANN und SCHMITZ	39
Bestimmung der Übungsserien von BERGER	39 - 40
Trainingsvergleich an eineiigen Zwillingen von MELLER und STOBOY	40 - 41
Dynamische Trainingsform von NETT	41 - 42

	<u>Seite</u>
Bevorzugt dynamisches Training nach OSOLIN	42 - 43
Kombiniertes Training nach STEINBACH	43 - 44 44
WERSCHOSHANSKI, Semjonow	44
NETT	45
Das isokinetische Krafttraining nach KROGER	46
Ausblick und Diskussion	47 - 53
Literatur	54 - 59
Lebenslauf	60 - 61

Digitized by the Internet Archive
in 2026



Abb.1: Amphore ca. 540-53 vor Chr. stellt Wettläufer in Griechenland dar.

ZUSAMMENFASSUNG

Es wird berichtet über Laufuntersuchungen von der Antike bis zur Gegenwart. Besondere Berücksichtigung finden dabei die mechanischen und biomechanischen Untersuchungsmethoden. Bei den ersten beschriebenen Trainingsmethoden handelt es sich um mehr allgemein ausgerichtete körperliche Übungen ohne besondere Berücksichtigung der für den Lauf notwendigen Muskulatur. Die Variationen in der Beurteilung eines Läufers und der Angaben für das Training richteten sich nach der Erfahrung des Trainers und waren rein empirisch ausgerichtet. Als die Wissenschaft in den Dienst des Sportes trat, begann man mit Hilfe theoretischer Berechnungen einen idealen Lauf zu konstruieren und den Läufer danach auszurichten. Erst in der jüngsten Gegenwart begann man mit Vervollkommen der technischen Hilfsmittel, detaillierte Studien am Läufer selbst durchzuführen. Die aus der Empirie kommenden Fragen konnten durch Messungen objektiviert werden. Unterschiedliche kinematographische, dynamographische und spiographische Meßmethoden stehen zur Verfügung und liefern eine Fülle von Laufmerkmalen. Durch Kombination verschiedenster Wertepaare wird die multifaktorielle Laufanalyse ermöglicht. Auch Computer haben sich in der physikalisch-quantitativen Analyse bereits bewährt. In der Frage der Talent-suche werden die biomechanischen Leistungsparameter ventiliert; gleichzeitig aber auch auf die Beeinflussung physiologischer und psychologischer Faktoren aufmerksam gemacht.

EINLEITUNG

Die Biomechanik befaßt sich mit der Analyse von Bewegungsabläufen. Dabei werden alle Methoden herangezogen, die objektivierte Meßdaten während einer Phase oder einer Folge von Bewegungen liefern. Die Fragestellungen für biomechanische Untersuchungen kommen aus der Klinik (z.B. Neurologie, Orthopädie), der Arbeitsmedizin und schließlich auch aus der Sportmedizin.

Aus den Reihen der Trainer und Sportler hat sich die Tendenz immer mehr durchgesetzt, neben den häufig kaum deutbaren visuellen Beobachtungen, die auf reiner Empirie und Analogie beruhen, objektive Methoden und Bewertungsverfahren mit der subjektiven Beobachtung zu verbinden. Die Zielvorstellungen für den Einsatz biomechanischer Methoden im Sport laufen darauf hinaus, durch bessere Kontrolle der Bewegungsabläufe und durch systematische Korrekturen und Hilfen die spezifische Leistung des Sportlers auf ökonomische Weise zu steigern. Wenngleich die Erkenntnisse, die mit Hilfe biomechanischer Untersuchungen gewonnen werden, noch nicht diese Erwartungen erfüllen konnten, so haben diese doch in vielen Fällen ergeben, daß die Konzeption bestimmter Trainingsmethoden falsch und daher ineffektiver oder sogar leistungsmindernd war.

Die Frage der Leistungsrelevanz wird jedoch nicht nur durch biomechanische Faktoren bestimmt. Der Komplex der psychophysischen Faktoren wurde bereits von BELJAEVA EXEMPLASKAJA, MURPHY und GRUNDMANN (1961) diskutiert, indem sie die Abhängigkeit der Laufgeschwindigkeit von anderen motorischen Abläufen an einer Person studiert haben.

GOROSHANIN (1970) untersuchte die Charaktereigenschaften bei Läufern unterschiedlicher Disziplinen und fand heraus, daß es Typenhäufungen in den einzelnen Disziplinen gibt.

KOLODNAJA (1970) hat diese psychologischen Aussagen durch physiologische Untersuchungen objektiviert. Er führte Herz-, Kreislauf-, Elektrolyt- und elektromyographische Messungen vor und nach dem Lauf in den einzelnen Läufergruppen durch und fand in den einzelnen Typen auch unterschiedliche physiologische Charakteristiken.

Die Objektivierung der Leistungsmöglichkeiten und einer Trainingseffizienz bedarf auch physiologischer Untersuchungen. ISRAEL (1959) befaßte sich mit der Abhängigkeit der Einlaufzeiten als Voraussetzung für die größtmögliche Leistung. Er kam zu dem Schluß, daß Einlaufzeiten von 20 Minuten eine maximale Muskeldurchblutung (Volumenzunahme) bewirken und danach auch die bestmögliche läuferische Leistung erbracht werden kann. Die Veränderungen am Myocardmuskel und ihre Interpretation am EKG hat REINDELL (1960) beschrieben.

Daß zusätzlich auch Änderungen der Erythrozytenzahlen, der Pulsfrequenzen und der Milchsäureverwertung im Blut nachgewiesen werden können, hat SUSLOW (1970) experimentell nachweisen können.

Diese Arbeit befaßt sich jedoch ausschließlich mit der Entwicklung der biomechanischen Untersuchungen des Laufes und den noch möglichen Untersuchungen, die sich als Konsequenz aus den bisherigen Ergebnissen und empirischen Beobachtungen ergeben.

GESCHICHTE DES LAUFSPORTS

Laufen stellt eine der animalischen Funktionen dar, die vom Kind triebhaft, nach Erlernen des Kriechens und Gehens, ausgeübt wird. Hüpfen und Laufen entspringen einem vitalen Bedürfnis. Daneben wird es geübt und verfeinert, um im Bedarfsfall beherrscht zu werden.

Frühgeschichtliche Darstellungen und Sportstätten weisen bereits auf die wettkampfmäßige Ausübung des Laufes hin. Im germanischen Raum finden wir im Teutoburger Wald bei Hagen und in Stonehenge (England) Sportstätten mit Laufanlagen, die um 1700 v.Chr. erstellt worden sind.

Geschichtsschreibungen (LUKAS 1969; POPLOW 1959) weisen darauf hin, daß im Ausbildungsplan der ostgotischen Heere Lauf und Sprung systematisch gepflegt wurden. Aber auch bei den Ägyptern finden wir Darstellungen, wie am Grab des PTANOTEP (2450 v.Chr.), auf denen Laufwettkämpfe verherrlicht werden. Von den Griechen liegen schriftliche Berichte über ein methodisches Sporttraining von HERODIKOS (500 v.Chr.) vor. Ebenso beschreiben PLATON und HERODOT die gymnastischen Übungen der jungen Männer.

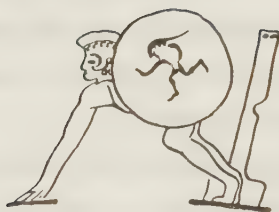


Abb.2: Ein Läufer im Tiefstart von einer Steinrille aus.
Bei den antiken olympischen Spielen in Griechenland
72 v.Chr. ist diese Art des Startes bereits ausge-
übt worden (nach BALZER 1966).

Bei den ersten Olympischen Spielen in Athen wurde zunächst nur der Kurzstreckenlauf (Dromos) über eine Länge von 600 olympischen Fuß, was einer Länge von 192,27 m entsprach, ausgeführt.

Bei den späteren Olympischen Spielen in Delphi betrug die Bahnlänge 178 m.

Es wurde dann auch der Diaulos, ein Lauf über zwei Stadienlängen, und der Hippios-Dromos über vier Längen und schließlich, bei den 15. Olympischen Spielen im Jahre 72 v. Chr. auch der Dolichos über 24 Bahnlängen ausgeübt. Da zu diesem Zeitpunkt noch keine Kreisbahnen oder elliptische Bahnen bestanden, wurden die Läufe nur auf einer Geraden, auf deren Wendepunkt eine Säule stand, ausgeübt.

Zwar finden wir auch bei LIVIUS (Certamina Velocitas Viriumque), VERGIL und DIONYSIUS etwas genauere Beschreibungen über das Lauftraining, doch man kann zu dieser Zeit noch nicht von einem abgestuften Übungsaufbau sprechen.

Die Römer hatten in ihren Agonen den Olympischen Spielen ähnliche Sportfeste. An ihnen nahmen bereits die ersten Berufsathleten teil, die sich ausschließlich auf diese Spiele vorbereiteten und meistens, aufgrund ihrer sportlichen Leistungen, begünstigte Unfreie waren. Eine geschlossene Literaturquelle, die sich ausschließlich mit dem methodischen Training des Laufes bei den Römern und Griechen befaßt, finden wir unter den Geschichtsschreibern nicht. Jedoch entnehmen wir aus den Beschreibungen über das Militär von CICERO (Exercitatio militaris) und denen von LIVIUS IX, XIII, XVI, daß es bereits spezielle Laufübungen neben denen des Sprunges und Wurfes gab.

Außerdem können aus den bildlichen Darstellungen aus dieser Zeit (Abb. 1 und 2) rationalisierende Einflüsse auf den Laufsport durch Tiefstart und Startrillen entnommen werden.

Mit dem Abbruch der Olympischen Spiele der Griechen und den Agonen der Römer findet sich in unserem Kulturraum eine Lücke über die Beschreibung und Verherrlichung des Laufsports. Lediglich in den Liedern der Edda des 9. bis 12. Jahrhunderts finden wir noch einmal die Verherrlichung läuferischer Wettkämpfe neben anderen Spielen.

Erst mit dem Aufleben der modernen Olympischen Spiele im Jahre 1896 erwachte auch das Interesse an der Erforschung der menschlichen Bewegungsabläufe. In diese Zeit fallen auch die ersten systematischen Untersuchungen von Lauf und Gang (WEBER 1836; MEYER 1853; MAREY 1884).

EMPIRISCHE TRAININGSMETHODEN UND ANLEITUNGEN

Den experimentellen Untersuchungen waren oft die optischen Bewegungsanalysen beim Lauftraining vorangegangen. HOKE (1958) konnte aufgrund eigener Trainingserfahrungen Anweisungen für das Lauftraining geben. Er stellte zunächst fest, daß die Leistungssteigerung in der Förderung der Reizhäufigkeit und der Reizgröße zu finden war. Dementsprechend variierte er die Erholungsintervalle, indem er sie mit fortgeschrittenem Training immer kürzer wählte.

Sein Training teilte er ein in Haupt- und Nebenstrecken, wobei die Nebenstrecken in Länge und Laufzeit ebenso wie in Erholungszeiten variiert wurden.

In den Beschreibungen von NETT (1960) wurde zunächst kein Augenmerk auf die biomechanischen Variaten für das Lauftraining gelegt. Vielmehr glaubte er, physiologische Faktoren für die Leistungssteigerung zu ventilieren. Als Anweisung für sein Training verwendete er einen Ermüdungswiderstands-Index, den er empirisch für die einzelnen Laufstrecken festgelegt hatte. Diesen Zeitwert machte er abhängig von Trainingszustand und Jahreszeit und addierte ihn jeweils zur Bestzeit des Läufers auf dieser Strecke, um so einen Anhalt für die Trainingszeit zu bekommen. Außerdem empfahl er einen vierwöchentlichen Trainingszyklus, in dem er durch An- und Abschwelen der Anforderungen eine organische Anpassung zu erreichen suchte.

In DYZON (1961) finden wir den wohl exaktesten Empiriker. In seinen zeichnerischen Darstellungen detailliert er die charakteristischen körperlichen Bewegungen für verschiedene Laufdisziplinen und kennzeichnet die körperlichen Merkmale des Läufers, die ihn für eine bestimmte Disziplin besonders disponieren. Die subjektive Bewegungsanalyse ist perfekt gelungen. Er baute auf Beobachtungen an begabten Läufern in verschiedenen Disziplinen eine Ordnung charakteristischer körperlicher Merkmale und Laufhaltungen für die einzelnen Laufarten auf. (Abb. 3).



Abb.3: Haltung des Laufschuhs bei den verschiedenen Laufarten nach DYZON (nach BALZER 1966).

Seine Beobachtung, daß die Armhaltung bei Kurz-, Mittel- und Langstreckenlauf unterschiedlich ist, konnte HOCHMUTH (1968) belegen, indem er die Teilimpulse und Gegenwirkungen errechnete, die von den einzelnen Körperteilen ausgehen.

Die Möglichkeiten läuferischer Leistung sieht DYZON durch Hebelkraft, Gewicht, Körperbau, Flexibilität und Koordination begrenzt, ohne eine besondere Typisierung in Läufergruppen vorzunehmen. Dennoch bietet diese Arbeit eine günstige Grundlage für Arbeitshypothesen zur objektiven Bewegungsanalyse.

Einen Beginn des Übergangs von der rein optischen Bewegungsanalyse zur Trainingsempfehlung nach objektiven Meßergebnissen stellt die Arbeit CZERNYS (1959) dar. Er zitiert die Ergebnisse FURNSAWAs (1928), der nach theoretischen Berechnungen den Punkt der höchsten Geschwindigkeit auf der 100 m-Strecke bei 64 m und auf der 200 m-Strecke bei 182 m errechnete.

Ebenso erwähnt er die ersten speedographischen Ergebnisse OSOLINS (1953), ohne jedoch eine direkte Konsequenz für seine Trainingsangaben daraus zu ziehen. Er nimmt diese Ergebnisse als starre Gegebenheiten hin und glaubt, daß eine Leistungssteigerung allein durch die morphologischen Gegebenheiten wie Gelenkaufbau, Ober- und Unterschenkelänge, ebenso wie durch eine angeborene Schnelligkeitsanlage und Kondition gegeben sein soll. Entsprechend unflexibel sind seine Trainingsanweisungen.

WISSENSCHAFT IM DIENSTE DES LAUFSPORTS

Die Fragestellung der Laufgeschwindigkeit, der Kräfte und der verrichteten mechanischen Arbeit wurde erstmals von MAREY (1894) experimentell bearbeitet. Den Berechnungen über die Kräfte beim Lauf legte er eine Pendeltheorie zugrunde.

Die Arbeit pro Zeiteinheit als Funktion der Laufgeschwindigkeit ergab hierbei Werte, die mit 6 PS weit unter den ~~der~~ heute für richtig angesehenen Werte lagen.

Der Grund dafür lag in einem formal fehlerhaften Ansatz und in einer zu niedrig gewählten Laufgeschwindigkeit bei vorgegebener Frequenz.

MAREY legte seinen Laufgeschwindigkeitsberechnungen drei Schrittlängen, die zwischen 1 m und 60 cm lagen, zugrunde. Aus diesen Ansätzen gehen zwei wichtige biomechanische Gesichtspunkte hervor, nämlich die Frage nach der Bedeutung von Schrittfrequenz und Schrittlänge beim Lauf.

Neben diesen beiden Parametern bezieht SCHUPPE (1940) auch noch die Berechnung der Oberkörperschräglage bei Sprintern und Langstreckenläufern, die Muskel-, Schwer- und Widerstandskraft mit ein. Anhand eines Kräfteparallelogramms berechnet er die wirksamen Kräfte bei Langstreckenlauf und Sprint. Den Langstreckenlauf charakterisiert SCHUPPE gegenüber dem Kurzstreckenlauf durch den größeren Schrittwinkel (gemeint ist der Winkel, den die Oberschenkel bei maximaler Spreizung zueinander bilden) und das betontere Vorwärtsschleudern des Unterschenkels beim Läufer.

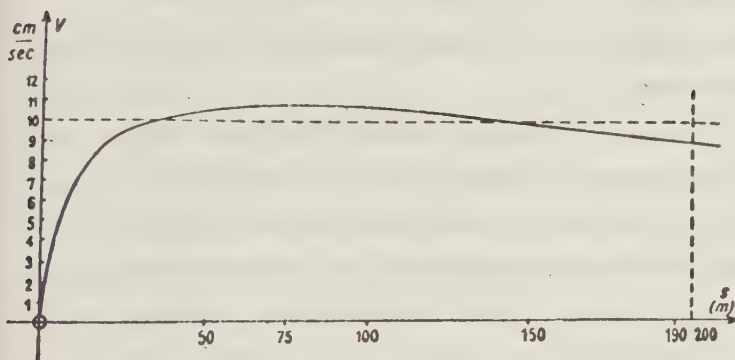


Abb.4: Ein Speedogramm von Schuppe (1964), das er allein aus der Anwendung der von ihm aufgestellten Geschwindigkeits-Zeit-Formel gewonnen hat. Der Verlauf entspricht weitgehend den experimentell ermittelten Kurven im Beschleunigungsabschnitt und dem maximalen Geschwindigkeitsplateau.

Andererseits sind rhythmische Bewegungen der Extremitäten in individuell wechselnder Weise begleitet von ausgeprägten Drehungen und Schwankungen des Oberkörpers. Aus diesen Berechnungen ergibt sich eine Beziehung zwischen der Abstoßkraft an der hinteren Extremität (hinterer Stütz) zur Körperhaltung (insbesondere der Schräglage der Körperachse).

Für den Kurzstreckenlauf ist dagegen das energische Hochreißen des Oberschenkels und ein konzentrierter Einsatz der Muskelleistung in Laufrichtung durch Minimalisieren aller abweichenden Körperschwankungen und Drehbewegungen charakteristisch. Hierbei bleibt der Oberkörper in der Hüfte stärker abgeknickt. Bei diesem Laufstil bleibt der Abstand zwischen Körperschwerpunkt und dem vorderen Stütz klein. Auf diese Weise wird im vorderen Stütz die entgegen der Laufrichtung wirkende Kraft gering gehalten (= Kleinhaltung der "negativen Stützreaktion" nach DONSKOI).

SCHUPPE forderte zunächst folgerichtig eine zusätzliche Schürfbewegung (d.h. Rückziehen des vorderen Beines im Moment des Aufsetzens), um den Abstand vom Körperschwerpunkt zum vorderen Stütz weiter zu verkleinern.

WERSCHOSHANSKIJ (1971) hat dieses Problem kürzlich noch einmal aufgegriffen. Eine Schürfbewegung, die den Abstand Körperschwerpunkt - vorderer Stütz verkleinern sollte, ist jedoch nicht erfolgreich zu trainieren. Allein die Oberkörpervorlage kann den Bremsstoß vorne verringern.

Auch ist das energische Hochreißen des vorderen Oberschenkels nach Berechnungen von SOLIMAN (1964), HOCHMUTH (1965)

und SCHMITZ (1971) von SCHUPPE überbewertet. Es ist nur ein Teilimpuls für die gesamte Beschleunigung und kann durch eine unkoordinierte Überbetonung ein Drehmoment hervorrufen, was sich negativ beschleunigend auswirkt.

SCHUPPE stellt eine "Bewegungsgleichung" in Form einer Exponentialfunktion auf, in die individuelle Körperliche Eigenschaften des Läufers eingehen.

Aus seiner Bewegungsgleichung leitete er für den Kurzstreckenlauf das Geschwindigkeits-Zeit-Gesetz ab und errechnete die örtliche Geschwindigkeit und Beschleunigung des Läufers auf der Strecke.

Zunächst waren Luftwiderstand und innerer Widerstand in dieser Gleichung nicht berücksichtigt. Doch hat er nach Versuchen von HILL (1928) im Windkanal auch eine Widerstandsgleichung aufgestellt, mit der man die errechnete örtliche Geschwindigkeit, je nach Windverhältnissen, korrigieren konnte.

Das Ergebnis seiner theoretischen Ableitungen hatte er selbst nicht durch Laufexperimente überprüft. Mit Hilfe experimentell gewonnener Speedogramme läßt sich jedoch feststellen, daß das Ergebnis der SCHUPPE'schen Berechnungen recht gut mit den beobachteten Werten übereinstimmt (OSOLIN 1953; GUNDLACH 1961; IKAI 1967). (Abb.4).

Aus seinen theoretischen Erwägungen gab er Hinweise zur ökonomischen Krafteinteilung beim Lauf unter verschiedenen Windbedingungen.

Eine Bewegungsgleichung haben FURNSAWA, PARKINSON und HILL im Jahre 1928 unter Berücksichtigung individueller Faktoren bereits aufgestellt. Die Werte für die örtliche Geschwindigkeit haben sie experimentell ermittelt, indem ein mit einem Magneten ausgerüsteter Läufer an hintereinander aufgestellten Drahtspulen entlanglief. Der ausgelöste Induktionsstrom wurde zeitlich gemessen. Ausgehend von diesen Funktionen haben HENRY und TRAFTON (1955) knapp 30 Jahre später Messungen am Läufer mit Hilfe eines Chronographen durchgeführt. Sie ließen den Läufer in regelmäßigen Abständen mechanisch einen Stromstoß auslösen und benutzten diese Signale zur Aufstellung von Speedogrammen. Hierbei konnten sie nachweisen, daß die Bewegungsgleichung zwar eine recht gute Übereinstimmung im Bereich der maximalen Geschwindigkeit mit den individuell gemessenen Werten zeigte, jedoch keine befriedigenden Kenntnisse über den Beschleunigungsabschnitt bzw. über die Geschwindigkeit auf den letzten 10 m erhalten werden konnten.

Die Veränderung der Körperschwerpunktslage (KSP) beim Lauf hat schon frühzeitig die Autoren beschäftigt. Man wollte durch die Veränderung der KSP-Lage die günstigste Laufhaltung ermitteln.

FISCHER (1899) befaßte sich mit der Frage der KSP-Lage-Veränderung bei Verlagerung von Extremitäten. Hierzu ermittelte er die Maße der verschiedenen Körperteile an Toten und stellte die gewonnenen Werte tabellarisch nach Körpermaßen und -gewichten geordnet zusammen. Er berücksichtigte die Einzel-

schwerpunkte der Körperteile und ermittelte mit Hilfe des Kräfteparallelogramms die Veränderung des KSP durch Extremitätenverlagerung und seine Balancierung durch Gegenbewegung der anderen Körperteile.

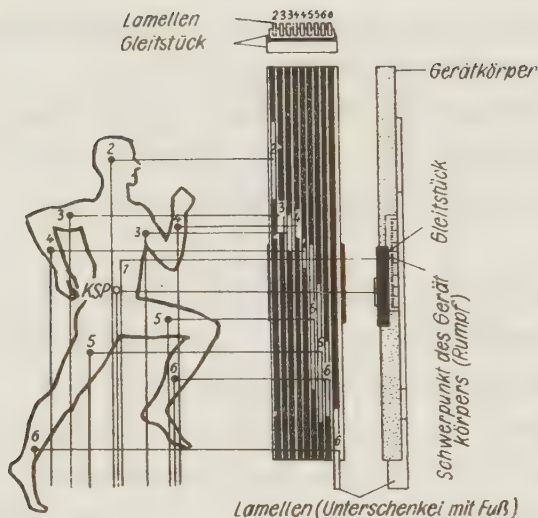
Durch Verschiebung der Proportionalitätszirkel konnte er z.B. die typischen Armbewegungen des zur Vorlage neigenden Kurzstreckenläufers als mechanisch bedingt deuten.

In der Folgezeit befaßten sich die Autoren mit der Verbesserung der experimentellen Bestimmungen des KSP bei einer eingenommenen Laufhaltung und während des Ablaufes von Laufbewegungen.

BASLER (1929) (aus HOCHMUTH 1960) bediente sich zur KSP-Bestimmung einer Dreiecksplatte, die mit zwei Punkten auf jeweils einer Personenwaage auflag, während die 3. Ecke starr unterstützt war. Der Sportler legte sich in verschiedenen Haltungen auf die Platte. Bei Kenntnis des Gesamtgewichtes und bei Anwendung der speziell für die Waage zutreffenden Formel war die KSP-Bestimmung für jede Position zu ermitteln.

Im Gegensatz zu den folgenden Methoden sind diese Messungen an lebenden Personen durchgeführt worden.

ABALAKOW (aus HOCHMUTH 1960) verwendete die von FISCHER angefertigten Tabellen und baute ein Metallmodell der Versuchsperson. Auf einer Waage, die im Gleichgewicht sein mußte, ermittelte er die Schwerpunktslage des Modells in entsprechender Position. STUKALOW (aus HOCHMUTH 1960) benutzte ein Gerät mit einer Grundplatte, die insgesamt dem Körpergewicht entsprach und darauf verschieblichen Lamellen, im Gewicht der einzelnen Körperteile (Abb. 5).



Schwerpunktbestimmung
mit Hilfe verschiebbarer
Lamellen (nach STUKALOW)

Abb.5: Die von Stukalakow (aus Hochmuth 1964) verwendete Personenwaage besteht aus einer Grundplatte mit verschieblichen Lamellen, die insgesamt dem Körpergewicht entspricht. Die einzelnen Lamellen entsprechen Gewichten von Körperteilen. Bei Verschiebung der Lamellen kann man die Schwerpunktslage der entsprechenden Haltung feststellen.

Durch Verschiebung der Platten bis zum Erreichen eines Gleichgewichtszustandes sollte jede Laufhaltung reproduziert werden und die entsprechende Lage der Körperteile erkennbar sein.

Diese Modelluntersuchungen haben zu keinem wesentlichen Fortschritt geführt.

Die KSP-Untersuchungen waren in späteren biomechanischen Untersuchungen nie mehr Hauptbestandteil der Fragestellung, sondern haben sich vielmehr, z.B. bei dynamographischen Stützuntersuchungen, automatisch aus der Veränderung der Kraftvektoren ergeben (SOLIMAN 1964).

Ein anderes Arbeitsmodell zur Berechnung der beim Lauf auftretenden Kräfte hat DONSKOI (1961) aufgestellt (Abb. 6).

Durch das Auftreten der Beine beim Lauf entstehen vorne und hinten Stützreaktionen, wobei die Laufbahn den Stütz selbst bildet. Der Abstoß vom hinteren Stütz ruft eine beschleunigende Stützreaktion hervor, im vorderen Stütz tritt dagegen anfänglich eine Bremsreaktion auf. Während der Stützreaktionen ändert sich die Lage des KSP. Die der Anhebung des KSP dienenden Kraftvektoren und die der positiven bzw. negativen Beschleunigung im hinteren bzw. vorderen Stütz hat DONSKOI näher betrachtet und sie als Tätigkeitsmerkmal der kinematischen Muskelkette von Hüfte, Gesäß, Ober- und Unterschenkel sowie des Fußes interpretiert. Dieser Autor hat damit eine "innere Biomechanik" konzipiert und in ersten Ansätzen die Beziehung zur äußeren Biomechanik erläutert.

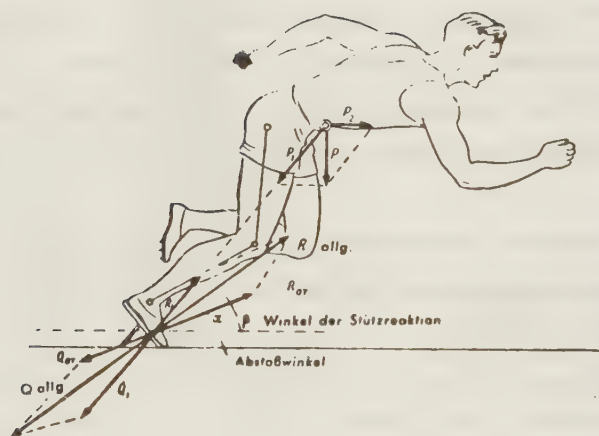


Abb. 6: Aus diesem Kräfteparallelogramm errechnet Donskoi die Stützreaktionen bzw. die positiv beschleunigende Abstoßkraft. Dabei bedeuten P, P_1, P_2 die Kraftvektoren des Körpergewichtes in den 3 Richtungen, Q_{QT} und R_{QT} die Abstoßkraft und -reaktion, R_l die Stützreaktion durch Wirkung der Schwerkraft, $R_{allg.}$ die allgemeine Stützreaktion (nach Donskoi 1961).

Bei elastischem Stütz (Tartan-Bahn) lassen sich beide Stützreaktionen aus physikalischen Gründen besser nutzen als bei unelastischem Stütz (harte Aschenbahnen, Asphalt). Wird der Lauf nicht mehr beschleunigt, sind die effektiven Stützreaktionen am vorderen und hinteren Stütz stets gleich groß. Für die Start- und Laufhaltung berechnet DONSKOI die auftretenden Kräfte und Drehmomente nach Abb. 6.

Aus diesen Untersuchungen erarbeitete er Gesichtspunkte, die zum ersten Mal auch Fragen des physiologischen Zeitbedarfs für Muskelkontraktionen und Kraftentfaltung betreffen.

Beim Sprint treten als Folge der höheren Schrittfrequenz und -länge größere Kräfte bei kürzerer Wirkungsdauer der Abstoßkraft auf als beim Langstreckenlauf. Es zeigt sich, daß man niemals die maximale Kraft, die übrigens nicht am Ende der positiven Stützreaktion sondern kurz zuvor anfällt, während einer Stützphase von etwa 0,1 sec. Dauer entwickeln kann, da dafür eine längere Zeit (0,7 sec.) notwendig wäre. Eine Konsequenz daraus, daß im Training eine "Explosivkraft" für die Streckmuskeln der unteren Extremität zu fördern ist, um einen möglichst großen Anteil der Kraft für die positive Stützreaktion zu gewinnen, wird bei DONSKOI noch nicht gezogen (s. WERSCHOSHANSKIJ und SEMJONOW).

DONSKOI beschreibt weiterhin die Unterschiede von verschiedenen Laufarten in den Veränderungen der Flug- und Schwangphase. Einen wichtigen Merkmalsunterschied zwischen Sprint

und Langstreckenlauf sieht er in dem Winkel, den der Unterschenkel am vorderen Stütz mit der Ebene der Bahn bildet. Mit zunehmender Laufgeschwindigkeit wird dieser Winkel spitzer. Bei dieser Winkeleinstellung ist der Streckmuskel mehr vorgedehnt, was die Kontraktions- und Arbeitsbedingungen dieser Muskeln begünstigt.

Außerdem ist hierbei die zu überwindende negative Stützreaktion vor dem KSP kleiner als bei einem größeren Aufsetzwinkel des Unterschenkels.

Diese rechnerischen Ergebnisse stehen in guter Obereinstimmung mit den experimentell dynamographisch gewonnenen Werten von SOLIMAN (1964) und SCHMITZ (1971).

Ein theoretisches Verfahren zur Ermittlung idealer Laufkurvenverläufe wird mit dem Näherungsverfahren in Form der graphischen und numerischen Differentiation und Integration von HOCHMUTH (1957) beschrieben.

Er geht dabei so vor, daß aus der Praxis gewonnene kinematographische und dynamographische Werte eines Bewegungsablaufes in ein Diagramm eingetragen und die Kurve danach idealisiert wird. Aus der idealisierten Kurve wurden dann Werte für die Umrechnung entnommen. Es lagen so vor: kinematographisch ermittelte Weg-Zeit-Diagramme und dynamographisch ermittelte Druck-Zeit-Diagramme. Aus dem Weg-Zeit-Verlauf konnte durch Differentiation die Geschwindigkeit ermittelt und aus dem Druck-Zeit-Verlauf durch Integration Geschwindigkeit und Beschleunigung ermittelt werden. Dem liegt zugrunde, daß die mittlere

Geschwindigkeit aus dem Tangens in dem bestimmten Kurvenpunkt zu ermitteln ist oder sich aus der ersten Ableitung der Funktion ergibt.

Der Trainer soll durch die skizzenhafte Registrierung, Integration und Differentiation den individuellen Kurvenverlauf angeben und im Vergleich mit den Idealkurven Schlüsse auf die Laufqualität des Probanden ziehen. Diese Methode ist fehlerhaft, da die durch Teilimpulse entstehenden Amplituden geglättet werden. Außerdem läßt sie sich in die Praxis nicht einführen, da sie zur Routine an den Trainer zu hohe Ansprüche stellt.

DIE OBJEKTIVE BEWEGUNGSANALYSE DES LAUFES

Die kinematische Bewegungsanalyse begann mit der von MAREY (1884-1894) konstruierten Lochkamera, mit der er die an den Gelenkpunkten markierte Untersuchungsperson während der Laufphase auf eine photographische Platte aufnahm. Gleichzeitig brachte er Metermaß und Uhrzeiger auf die photographische Platte und konnte eine synchronisierte Weg-Zeit-Beurteilung vornehmen. Für Kinegramme verwendete er eine Kamera, die mit dem von JANSSEN (1873) entwickelten Schlitzverschluß arbeitete und ihm Belichtungszeiten bis zu $1/720$ sec. bei 12 Aufnahmen pro Sekunde ermöglichte. Diese Untersuchungen waren aber nur für den Gang geeignet.

Erst BERNSTEIN (1927-1947) hatte durch die Erfindung der Chronozyclophotographie eine brauchbare kinematographische

Methode für die Erfassung der Bewegungsmerkmale beim Lauf geschaffen (Abb. 7).

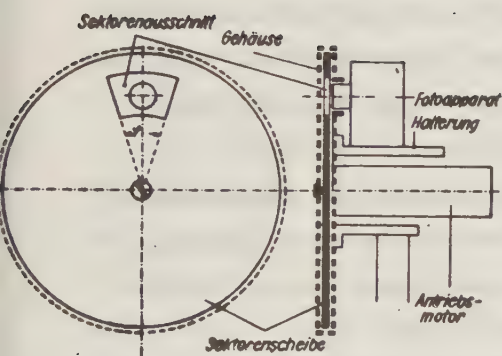
Bei diesem Verfahren werden mehrere Bewegungsabläufe auf einer Negativplatte durch mehrfache Belichtung festgehalten, wobei besonders darauf zu achten ist, daß der Hintergrund dunkel gegenüber der Versuchsperson bleibt.

Abb. 7 zeigt das Funktionsprinzip des Chronozyclophoto-graphen. BERNSTEIN konnte aus seinen Aufzeichnungen Schrittlängen und Schrittfrequenzen des Läufers bestimmen. Belichtungszeit und Frequenzen ließen sich beliebig, je nach Erfordernis, durch Lichtbedingung und der Bewegungsgeschwindigkeit des Läufers einstellen.

Bei der Stroboskopie (aus GROH, BAUMANN, 1968) bewegen sich die rotierende Blende und der Film gegeneinander und gestatten dadurch eine noch größere zeitliche Auflösung, die bei maßstäblicher Wiedergabe eine gute Berechnung von Geschwindigkeit und Beschleunigung ermöglichen.

SOLIMAN (1964) und BALLREICH (1969) benutzten normale Filmkameras, die im Abstand zwischen 30 und 80 Metern vom Objekt aufgestellt waren. Die Bildstreifen wurden zusammen mit anderen Meßgrößen dazu verwendet, eine komplette Bewegungsanalyse mit einer synchron registrierten Kraftmessung zu kombinieren.

Werden nur an den Gelenkpunkten von Fuß, Knie, Hüfte, Hand, Ellenbogen, Schultern und Kopf Leuchtpunkte angebracht und im Dunkeln Laufbewegungen vorgenommen, so erhalten wir auf der photographischen Platte das Lichtspurbild (GROH, BAUMANN, 1968).



Funktionsschema des
Chrono-Zyklus-Foto-
apparates

Abb.7: Funktionsschema des Chronozyclofotoapparates nach
Bernstein (1927).

Diese charakteristischen Linien zeigen deutlich das unterschiedliche Bewegungsverhalten der verschiedenen Körperteile. Als alleinige Untersuchungsmethode hat die kinematische Bewegungsanalyse nur geringen Wert, da sie lediglich das wiederholte Erleben des Laufes ermöglicht. Natürlich läßt sie auch durch zeitliche Festlegung der Filmfrequenz Geschwindigkeitsmessungen zu.

Eine genauere quantitative Analyse des Laufes durch die Kinematographie wird erreicht, indem die Winkel der Gelenkpunkte zueinander bei den verschiedenen Laufphasen gemessen und in ein Ordinatensystem eingebracht werden. Es läßt sich so eine Weg-Kurve durch die eingetragenen Winkel ermitteln. Durch Differentiation der gewonnenen Werte erhalten wir eine Geschwindigkeitskurve, die für die Fußballen bis zu 43 km/h ergab.

Durch nochmalige Differentiation erhielt man die Beschleunigung in dem entsprechenden Gelenkpunkt. Doch haben sich die Werte der zweiten Differentiation als zu ungenau erwiesen und man brachte deshalb an den entsprechenden Gelenkpunkten direkt Beschleunigungsmesser an. Für den Fußballer ergab sich eine maximale Beschleunigung bis zu 42 G, während im entsprechenden Fall die maximale Beschleunigung des Beinschwerpunktes bei 22 G lag.

In der von GROH und BAUMANN (1968) beschriebenen elektro-nisch-automatischen Auswertanalyse können der gewonnene Lichtspurfilm und die auf einem Streifen aufgezeichnete Beschleunigungskurve eingebracht und synchron ausgearbeitet und registriert werden. Dabei werden Lichtspurfilme mit

mit Zeit- und Ortswerten sowie Beschleunigungskurven praktisch kontinuierlich zeilenweise durch einen elektronischen Strahl abgetastet und die Werte auf Lochkarten parallel registriert.

Hieraus gewinnt man für jeden Zeitpunkt des Laufes eine genaue Information über Geschwindigkeit, Beschleunigung und Laufhaltung.

Die Autoren sind damit beschäftigt, dieses Verfahren systematisch anzuwenden. Es ist zu erwarten, daß hiermit die Bewegungsanalyse weiter verfeinert werden kann.

DYNAMOGRAPHISCHE UNTERSUCHUNGEN DER KRÄFTE BEIM LAUF

Mit Hilfe dieser Untersuchungen soll festgestellt werden, welche Kräfte bei welchen Geschwindigkeiten des Laufes auftreten, und wie sie sich innerhalb einer Stützphase verändern. Außerdem ist die dynamographische Untersuchung ein wichtiger Anhaltspunkt für die Effizienz oder Ineffizienz eines Trainings. Die Entwicklung solcher Untersuchungsmethoden begann mit der von CARLET (1872) beschriebenen kymographischen Untersuchung.

Er brachte Druckluftkammern unter den Fußsohlen an, die über Luftschläuche mit dem Kymographen in Verbindung standen. Die Versuchspersonen bewegten sich auf einer Kreisbahn von 20 Metern Länge, was einem Radius von 3 Metern entspricht. Mit dieser Apparatur führte er selbst wenig aussagekräftige Messungen über den zeitlichen Ablauf der Stützphase durch.

Zwölf Jahre später bediente sich MAREY einer ähnlichen Apparatur zur Kraftmessung, indem er über ein Luftschlauchsystem unter einer Druckplatte anhand der pneumatischen Veränderungen die Änderungen der Belastung während einer Stützphase messen wollte.

Es konnten jedoch keine verwertbaren Ergebnisse gewonnen werden.

Einen brauchbaren, mechanischen Dynamographen zur Ermittlung der Druckverhältnisse beim Start verwendete HENRY (1952).

Seine Fragestellung war zwar die Ermittlung der günstigsten Blockabstände beim Start. Doch hatte er gleichzeitig einen mechanischen Dynamographen entwickelt, der weitgehend eine Registrierung der Druckkräfte sowie des zeitlichen Verhaltens zuließ.

Der Fuß stützte sich auf einen Metallschlitten, der über Walzenrädern die Horizontalkräfte auf eine Schraubenfeder übertrug. Über Stangen und Antriebsritzel konnten, je nach Deformierung der Schraubenfeder und der Drehbewegung des Ritzels, Ausschläge über einen Chronographen abgelesen werden. Er ermittelte, daß am vorderen Block geringere Kräfte mit längerer Wirkungsdauer als am hinteren Block auftreten (Abb. 8).

Für die startabhängige Phase des Sprints kommt es auf zwei Größen an: Auf die Geschwindigkeit der Lösung von dem Block und auf den horizontal auftretenden Kraftstoß. Schnelles Lösen ist entscheidend für die ersten Meter, die beim Ab-

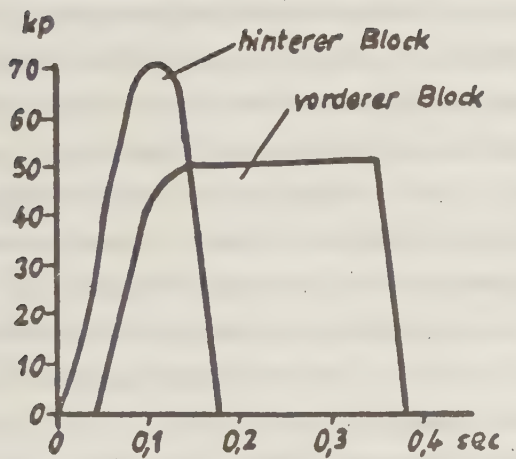


Abb.8: Kraftverhältnisse in Abhängigkeit von der Zeit an den Startblöcken beim Sprintstart (nach Ballreich 1960).

stoßen erzielte kraftabhängige Anfangsbeschleunigung wirkt sich sichtlich über die gesamte Beschleunigungsphase bis zu 50 Yards aus.

Ein sehr empfindlicher ortsfester Dynamograph, der aber auch störungsanfälliger, z.B. durch Körperschall und Eigenschwingung, ist, ist der ortsabhängige Dynamograph nach dem Dehnungsmeßstreifen-Prinzip von SOLIMAN (1964). Der Meßwertaufnehmer liegt in der Ebene der Laufbahn unter einer Platte. Gemessen wird die gesamte Stützphase mit Kraft-Zeit-Verlauf in horizontaler und vertikaler Richtung. Werden die Kraftvektoren über der X-Achse bis zum Kurvenschnittpunkt abgenommen und von einem Schnittpunkt des Ordinatensystems aus alternierend eingetragen, so erhält man über die Verbindungslinie der Spitzen die Kraftvektoren des Hodogramms (Abb. 9c).

In dieser Darstellung lassen sich sehr übersichtlich die Veränderungen der positiv- und der negativ beschleunigenden Kräfte in Abhängigkeit vom Laufabschnitt erkennen. Außerdem kann man einen ungünstigen Kraftablauf, z.B. aufgrund falscher Laufhaltung, im Hodogramm aufzeigen. Der Trainer vermag auf diese Weise durch Schrittverbesserung gezielte Anweisungen zu geben. Nachteil ist, daß der dynamographische Geber normalerweise auftretende Scherkräfte nicht gesondert erfaßt. Sie gehen ein in die Meßwerte für die beiden erfaßten Kräfte in vertikaler, bzw. horizontaler Richtung. Rechnerisch lassen sich demnach nur die aufgetragenen Brems- und Beschleunigungsstöße in vertikaler

und horizontaler Richtung verwerten. So ergibt sich, daß der Betrag des vertikalen Bremsstoßes zum Betrag des vertikalen Beschleunigungsstoßes (X_y in Abb. 9a, Kurve 1) bei den ersten Laufschritten unter dem Maximalwert (100 %) liegt und erst im Vollauf ansteigt, d.h., daß dann die beiden vertikalen Stöße annähernd gleich groß sind.

Der Betrag des horizontalen Bremsstoßes zum Betrag des horizontalen Beschleunigungsstoßes (X_x in Abb. 9a, Kurve 2) wächst bis zum Erreichen der maximalen Laufgeschwindigkeit oder mit anderen Worten: Die Bremskräfte werden mit zunehmender Geschwindigkeit größer.

Aus den Stützkurven (Abb. 9b) kann herausgelesen werden, daß mit zunehmender Geschwindigkeit die Stützdauer geringer wird. Entsprechend entfällt eine geringere Zeit für die positiv beschleunigenden Kräfte.

Eine Verkleinerung des vorderen Bremsstoßes konnte SOLIMAN beobachten, wenn der Sprinter sich aus vollem Lauf passiv treiben ließ (Abb. 9c).

Hierbei wird durch langsames Aufrichten des Oberkörpers die Masse und damit die Kraft vom vorderen auf den hinteren Stütz verlagert und im gleichen Sinne die negativ beschleunigende Kraft aufgehoben. Das geht aber nur wenige Schritte bis zu vollständigen Aufrichtung des Oberkörpers.

Interessanterweise fordert auch SOLIMAN eine Schürfbewegung im vorderen Stütz wie früher SCHUPPE, um die negative Stützreaktion zusätzlich zu reduzieren.

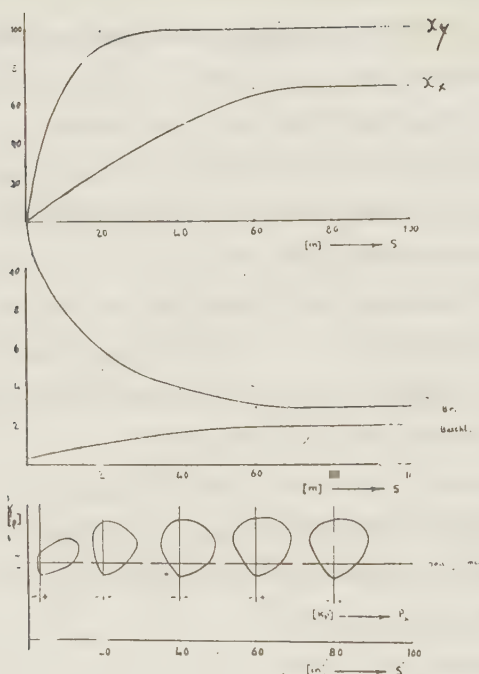


Abb.9: Aus der Kurve X_y geht hervor, daß zu Beginn des Laufes der Beschleunigungsstoß größer als der Bremsstoß ist. Im Vollauf nimmt die Kurve einen parallelen Verlauf, d.h. die Kräfte gleichen sich aus, $X_y = \text{Betr. d. vert. Bremsstoßes} \times 100 \%$ Beschleunigungsstosses

Abb.9a: X_x zeigt das Verhältnis der Beträge des horizontalen Brems- zum horizontalen Beschleunigungsstoß. Auch dabei sind die anfänglichen Beschleunigungsstöße größer als die Bremsstöße.

Abb.9b: Im Verhältnis ($X_y/Beschl.$) des vertikalen Bremsstoßes zum horizontalen Bremsstoß sieht man am Verlauf der Kurve, daß der horizontale Bremsstoß ansteigt.

$X_{Beschl.}$ bedeutet das Verhältnis vom vertikalen zum horizontalen Beschleunigungsstoss und zeigt, daß der vert. Beschleunigungsstoß anfänglich groß ist und dann abnimmt, aber der horizontale Beschleunigungsstoß in noch größerem Umfang abnimmt.

Abb.9c: Die Hodogramme ergeben sich aus der Übertragung der einzelnen Kraftvektoren aus dem Stützkurvenverlauf der Abb.9d. Hier die Hodogramme eines 100 m Läufers an den Streckenpunkten 0, 20, 40, 60, 80 cm. Es zeigt sich deutlich der unterschiedliche Krafteinsatz an den entsprechenden Streckenpunkten (nach Soliman 1964).

Der ortsunabhängige Dynamograph nach dem DMS-Prinzip wurde von SCHMITZ (1971) realisiert, indem er den Dehnungsmeßstreifen zwischen zwei Dornen in die Sohle einbaute. Die Übertragung erfolgte mittels eines Leitungsdrahtes telemetrisch über einen Sender am Gürtel des Probanden auf einen Empfänger in der Nähe der Laufbahn. Auch diese Anordnung hat ebenfalls den Nachteil, daß Scherkräfte undifferenziert mitregistriert werden. Außerdem ist es bei dieser Anordnung nicht möglich, den horizontalen und vertikalen Kraftvektor getrennt zu erfassen, sondern es wird immer nur ein Kraftvektor registriert. Doch hat es den Vorteil gegenüber dem ortsabhängigen Gerät, daß eine Fülle von momentanen Meßwerten auch unter Wettkampfbedingungen aufgezeichnet werden können.

Eine wesentliche Erkenntnis von SCHMITZ liegt darin, daß er keine signifikanten zeitlichen Unterschiede in der Gesamtstützdauer bei trainierten und untrainierten Personen feststellen konnte. Jedoch war die zeitliche Aufteilung der positiv beschleunigenden und der negativen Bremswirkung innerhalb des Stützes sehr unterschiedlich, was sich in der Vektor-Diagramm-Darstellung leicht zeigen läßt. So entfiel bei der trainierten Person ein größerer zeitlicher Anteil auf die positiv beschleunigende Stützdauer (entsprechend Abbildung 9d bei SOLIMAN) als auf die negativ bremsende. Daraus ließ sich auch erklären, daß die Varianz der 100-m-Zeit zu 71 % aus der Stützanzahl erklärt werden konnte, was bedeutet, daß bei größeren Schrittlängen eine geringere Stützanzahl auf der gleichen Strecke vorhan-

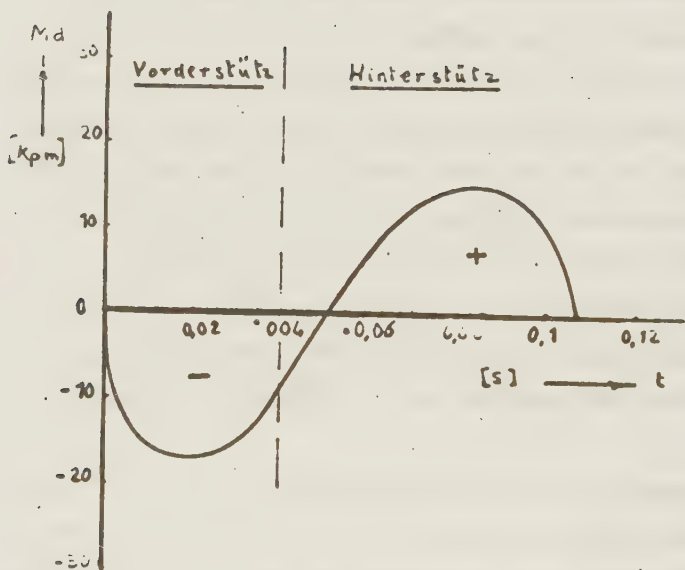


Abb.9d: Stützverlauf während eines Laufschrittes. Aus dieser Kurve werden die Vektoren für die Hodogramme entnommen. Die Brems- und Beschleunigungswirkung am vorderen und hinteren Stütz sind als negative und positive Flächen charakterisiert. Der horizontale Beschleunigungsstoß nimmt auch zeitlich ab und die Bremsstützdauer zu. In der Vertikalen nehmen Brems- und Beschleunigungsstützdauer ab (nach Solimann 1964).

den sein muß. Die Schrittfrequenz hat sich nur zu 3,4 % an der Varianz der 100-m-Zeit beteiligt. Diese Aussage kommt der BALLREICHs (s. dort) nahe.

SCHMITZ bezieht auch das Körpergewicht in die Leistungsvarianz ein. Der beste Indikator für die Sprintleistung ist nach SCHMITZ der normierte Impuls pro kg Körpergewicht pro Stütz. Er konnte zeigen, daß das Verhältnis aus Körpergewicht und Stützimpuls zu 65 % die interindividuelle Leistungsvarianz ausmacht. Eine Vergrößerung des normierten Stützimpulses ermöglicht eine Vergrößerung der Schrittlänge und führt damit zu einer Zunahme der Sprintleistung. Weiterhin beschrieb er, daß die Impulsgröße bis zum 4. Stütz nach dem Start abnimmt, obwohl die Maximalkraft (= die über die gesamte Stützphase gemessene Kraft) zunimmt. Das liegt an der Abnahme der Stützdauer.

Ab dem vierten Schritt kommt es wieder zum Anwachsen der Impulsgröße wegen der weiteren Zunahme der Maximalkraft bei Abnahme der Stützdauer.

Ab 30. bis 45. Schritt nimmt die Impulsgröße ab wegen der Rückbildung der Maximalkraft.

Ab 46. Schritt steigt die Impulsgröße wieder an bei Zunahme der Maximalkraft und der für die positive Beschleunigung ausnutzbaren Stützdauer.

Das erklärt sich aus der Gewichtsverlagerung des Oberkörpers auf den letzten Metern, wie sie bei SOLIMAN beschrieben worden ist. Eine Schrittlängenzunahme um 10 cm bedeutet eine Verbesserung der 100-m-Zeit um 0,4 sec., während eine Zunahme der Stützzahl um 1 auf 100 m ein Anwachsen der Zeit um 0,19 sec. bewirkt.

Diese Angaben entsprechen den Untersuchungen GUNDLACHS (1961)

LAUFGESCHWINDIGKEITMESSUNGEN

Die Gebrüder WEBER (1836) haben erstmals Laufgeschwindigkeitsmessungen durchgeführt bei vorgegebener Schrittfrequenz auf einer festgelegten Strecke.

Laufgeschwindigkeiten zwischen 1,008 bis 6,2004 m/sec. waren bei extrem kurzen Schrittlängen von 0,311 bis 0,912 m gemessen worden.

MAREY führte Geschwindigkeitsmessungen auf einer Rundbahn von 500 m Länge durch, an der im Abstand von 50 m elektrische Kontaktpunkte angebracht waren, die von der Versuchsperson beim Passieren berührt werden mußten. Die Schrittfrequenz blieb konstant und wurde durch Glockenschläge dem Probanden angezeigt. So konnte er die mittlere Schrittlänge und die Laufgeschwindigkeit errechnen.

Einen mechanischen Speedographen, bei dem ein auf einer Trommel aufgewickelter Faden am Läufer angebracht und von diesem während des Laufes abgewickelt wurde, hat ABALAKOW (aus Hochmuth, 1960) konstruiert.

Die mit Hilfe eines Tachygenerators registrierte Umfangsgeschwindigkeit der Trommel entspricht hierbei direkt der Laufgeschwindigkeit. Aus den Geschwindigkeitsmeßwerten stellte er ein Speedogramm auf.

HENRY und TRAFTON (1952) ordneten auf einer 50 Yard-Strecke im Abstand von 5-10 Yards leicht bewegliche Hebel an, die beim Durchlaufen mit dem Körper bewegt wurden und dabei

die Unterbrechung eines Stormkreises bewirkten. Die Signale wurden auf ein Kymographion, das in der Mitte der Laufbahn aufgestellt war, aufgezeichnet.

Die Geschwindigkeitswerte wurden in Form des Speedogramms in ein Koordinatensystem eingetragen.

Das Prinzip der Geschwindigkeitsmessung von HENRY und TRAFTON wurde eleganter abgewandelt durch die von GRIEVE und GEAR (1966 aus SMIESKOL) angewandte Lichtschranken-Methode. Anstelle der mechanischen Hebel sind hierbei auf der Laufstrecke Lichtschranken mit Photozellen aufgebaut. Bei diesem Verfahren mußte darauf geachtet werden, daß nur ein maßgebender Körperteil beim Passieren den Lichtstrahl einmalig unterbrach, da es sonst zu Fehlmessungen durch zwei aufeinanderfolgende Meßwerte oder eine vorge-streckte Gliedmaße kommen konnte. Als günstigste Höhe für die Lichtschranke hat sich der Hüftpunkt erwiesen.

Die präzisierte Anordnung zur Aufstellung eines Speedo-gramms hat IKAI (1967) benutzt. Er errichtete auf der 100-m-Strecke bei 1, 2, 3, 5, 10, 15, 20, 30, 40, 50, 60, 70, 80, 90 und 100 m Lichtschranken. Bei dieser Lichtschranken-Anordnung lassen sich die wichtigsten individuellen Geschwin-digkeitsveränderungen auf der Strecke und für jeden Läufer ermitteln. IKAI hat Läufergruppen im Alter von 7 bis 25 Jahren, männlichen und weiblichen Geschlechtes, auf ihre läuferische Qualität untersucht. Außerdem hat er in einer weiteren Untersuchungsserie männliche Probanden in drei Gruppen nach ihrem Leistungsvermögen eingeteilt und die

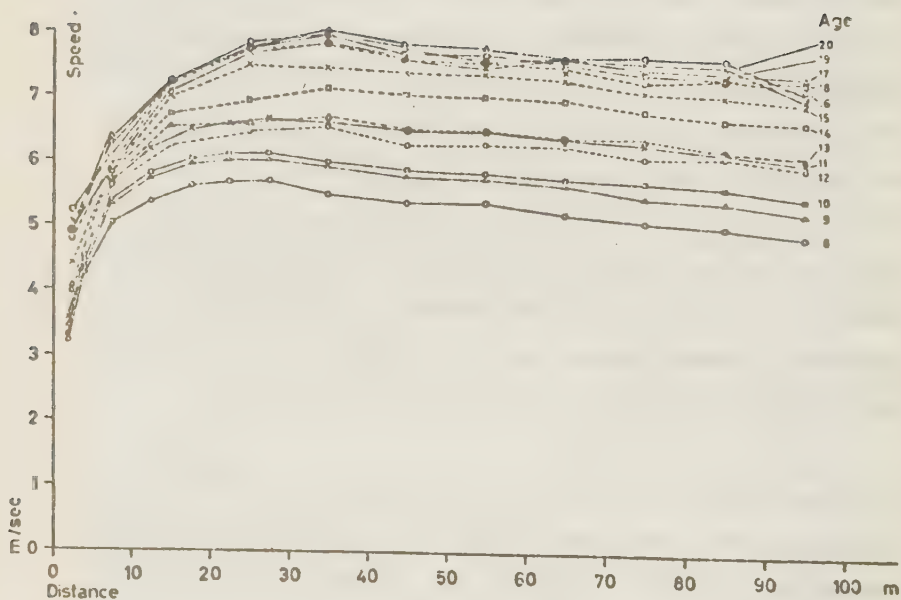


Abb.10: Mittels der Lichtschrankenmessung untersuchte Ikai die Geschwindigkeitsverläufe auf der 100 m Distance bei Läufern und Läuferinnen unterschiedlicher Altersgruppen und Qualifikationsgrade. Typische Geschwindigkeitsverläufe fand er bei Mädchen ab 11. und bei Jungen ab 16. Lebensjahr (nach Ikai 1964).

speedographischen Besonderheiten ermittelt. Er konnte dabei erstmals feststellen, daß der förderliche (positive) Leistungsknick beim heranwachsenden Menschen bei Mädchen im Alter von 11, bei Jungen im Alter von 16 Jahren lag. (Abb.10) Typischerweise tritt beim trainierten Sprinter ab 30 m ein Geschwindigkeits-Plateau und eine zusätzliche Steigerung auf den letzten 8 m auf. Ungeübte Läufer erreichen die Höchstgeschwindigkeit früher und halten nicht das Geschwindigkeits-Plateau. Zum Teil kann daran auch falsche Einschätzung des Leistungsvermögens schuld sein. Der charakteristische Unterschied gegenüber dem älteren Sprinter liegt bei dem Jugendlichen unter 16 bzw. 11 Jahren darin, daß sie wie Ungeübte das Plateau der maximalen Geschwindigkeit nicht halten können. Dagegen bestehen keine auffälligen Unterschiede im Beschleunigungsabschnitt bis zu 25 m. Das Übergangsverhalten von Untrainierten zu Trainierten deckt sich mit den von GUNDLACH (1961) und BALLREICH (1969) beschriebenen Feststellungen (s. dort).

LEISTUNGSPARAMETER DES LAUFES

Die Schrittlängen- und -frequenzmessungen nach GUNDLACH

Die Geschwindigkeitsmessung mittels der Lichtschranken-Methode von IKAI hat bereits gezeigt, daß die signifikanten Unterschiede von trainierten und untrainierten Personen am ehesten in der unterschiedlichen Ausdehnung des Plateaus der maximalen Geschwindigkeit zu suchen sind.

GUNDLACH (1961) hat mittels eines Chronographen, bei dem einerseits der Läufer vom Dorn des Laufschuhs über einen iso-

lierten Leitungsdraht und andererseits über die mit Kochsalzlösung übersprühte und leitfähige Laufbahn mit dem Chronographen in Verbindung stand, Messungen der Schrittlänge und -frequenz, und damit der Geschwindigkeit, durchgeführt.

Der Vorteil gegenüber der Lichtschranken-Methode bestand darin, daß hier mehrere Läufer miteinander unter Wettkampfbedingungen registriert werden konnten. Die Schrittlängen konnten aus der Dornenmarkierung in der Laufbahn und die Schrittfrequenz sowie die Laufgeschwindigkeitswerte aus dem Chronogramm entnommen werden.

Mit Hilfe der gewonnenen Meßergebnisse wurden Regressions- und Korrelationskoeffizienten zur Analyse der quantitativen Beziehungen der Faktoren Schrittlänge, -frequenz, Laufgeschwindigkeit und Körpergröße berechnet.

Als Leistungsnorm diente die 100-m-Bestzeit eines jeden Probanden. Die Durchschnittswerte für die obigen Faktoren wurden im Bereich der Maximalgeschwindigkeit aus 10 Laufschritten ermittelt. In der Koeffizienten-Aufstellung gab es nur die Unterscheidung zwischen Männern und Frauen, aber keine Qualifikationsunterschiede. Die Schrittlängen-Variation erfolgte in 3 Phasen.

1. Anfangsphase:

Anstieg der Schrittlänge bei den leistungsschwächsten Probanden bis zu 25 m, bei den leistungsstärksten bis zu 45 m. Diese beschleunigen ihren Lauf über eine größere Distance, indem sie die KSP-Vorlage länger zu halten und auszunutzen vermögen. Die Beschleunigungsphase wird mit der Aufrichtung

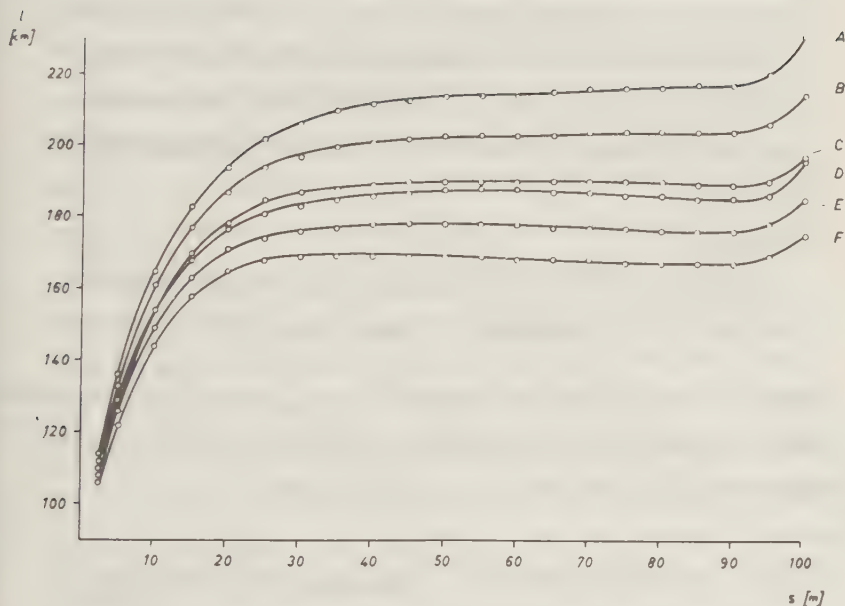


Abb.11: Schrittlängenkurven leistungsverschiedener Sprinter auf der 100 m-Strecke. Es zeigt sich, daß bei allen Gruppen eine Zunahme besonders auf den letzten 8 m vor dem Ziel eintritt (nach Gundlach 1961).

des Oberkörpers und damit der Rückverlegung des vorgeschobenen KSP beendet. Während der konstanten Geschwindigkeitsphase des Laufes verbleibt der Oberkörper in der aufgerichteten Position.

2. Mittlere Laufphase:

Eine gleichbleibende Schrittlänge hielt bei allen ungefähr bis zu 93 m an. Schwache Sprinter weisen eine geringere Schrittlänge auf und erreichen ihre konstante Schrittlänge in dieser Phase früher als schnellere Sprinter.

3. Endphase:

Die Zunahme der Schrittlänge auf den letzten Metern war bei allen Probanden zu finden (Abb. 11).

Diesen 3 Phasen wurde bei BALLREICH eine vierte -die Reaktionsphase- zugefügt. Diese hat jedoch hinsichtlich der Schrittlänge und -frequenz keine eigene Position.

Während der drei Laufphasen zeigte die Schrittfrequenz zunächst einen Anstieg bis zu einem Maximum bei 35 m, dann ein allmähliches Absinken und in der Schlußphase ein verstärktes Absinken (Abb. 12 a und b).

Die Beschleunigung erwies sich als bezeichnende Größe für die Qualifikation eines Läufers. Auf den ersten 2,5 m erreichten die besten männlichen Läufer nahezu Erdbeschleunigung, während die Gruppe der Frauen bis zu 35 % darunter lagen. Wo die besten noch beschleunigten, haben die schwächeren Sprinter bereits die maximale Geschwindigkeit erreicht.

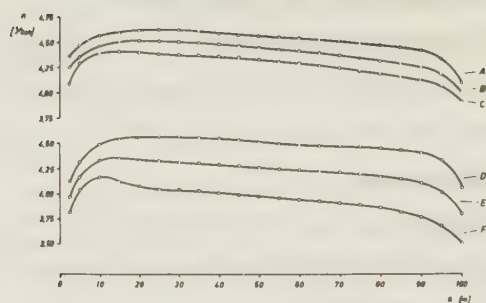
Die nach Erreichen der maximalen Schrittfrequenz noch mögliche Geschwindigkeitssteigerung kommt allein durch Schrittlängenzunahme zustande. Die maximale Geschwindigkeit wird noch in der Phase der Schrittlängenzunahme erreicht, allerdings schon in der Phase abnehmender Schrittfrequenz.

Zur Beurteilung der läuferischen Qualifikationen bietet sich an, die Schrittlängenzunahme nach dem Erreichen der Maximalgeschwindigkeit bei etwa 30-35 m heranzuziehen. Ab hier entscheidet sich, inwieweit der Läufer die abnehmende Schrittfrequenz durch Schrittlängenzunahme ausgleichen kann. Nur über die Schrittlängenzunahme ist die Dauergeschwindigkeit bis zum Ende konstant zu halten. Eine Steigerung der Geschwindigkeit durch ein Training, das auf Frequenzzunahme ausgerichtet ist, ist wenig effektiv: Die statistischen Analysen ergaben im Mittel eine maximale Steigerung von 0,2 pro sec. bei einer durchschnittlichen Schrittfrequenz von 4,3-4,6/sec. und eine Geschwindigkeitszunahme um etwa 0,4 m/sec.

Eine Schrittlängenzunahme um 10 cm, die relativ leicht durch Training zu erwerben war, bringt dagegen eine Geschwindigkeitserhöhung um 1,5 m/sec.

Die entsprechenden Merkmalsmessungen von BALLREICH (1969) ergaben bezüglich Schrittlänge, -frequenz und Laufbeschleunigung bzw. Geschwindigkeit die gleichen Befunde wie bei GUNDLACH.

In BALLREICHs Versuchsanordnung war die Laufbahn mit auswechselbaren Folien belegt, an denen man nachträglich auf



Durchschnittliche Schrittfrequenz	Gruppe	Streckenpunkt								
		2,5 m	5 m	10 m	20 m	40 m	60 m	80 m	100 m	
in Schrittzahl pro Sek.	A	4,36	4,47	4,56	4,61	4,57	4,54	4,45	4,07	
	B	4,25	4,35	4,46	4,51	4,47	4,40	4,29	3,96	
	C	4,08	4,30	4,39	4,39	4,35	4,28	4,17	3,88	
	D	4,12	4,31	4,49	4,54	4,55	4,47	4,43	4,04	
	E	3,96	4,16	4,33	4,30	4,28	4,22	4,15	3,80	
	F	3,81	4,04	4,16	4,06	4,00	3,93	3,85	3,50	
in % zu den Werten der Gruppe A	A	100	100	100	100	100	100	100	100	
	B	97,4	97,3	97,9	97,9	97,0	97,0	96,4	97,8	
	C	93,5	96,2	96,2	95,1	95,2	94,1	93,5	95,3	
	D	94,4	96,4	98,4	96,4	99,6	98,5	99,5	99,2	
	E	90,8	93,0	95,0	93,6	93,6	93,0	93,2	93,4	
	F	87,3	90,4	91,2	88,1	87,5	86,5	86,5	86,0	
in % zu dem Maximalwert		Maximal- wert	erreicht bei	Streckenpunkt						
				2,5 m	40 m	90 m	100 m			
	A	4,62	25 m	94,4	96,9	95,2	88,1			
	B	4,51	20 m	94,2	93,0	93,7	88,1			
	C	4,40	15 m	92,7	90,9	93,2	86,1			
	D	4,56	25 m	90,3	93,7	96,0	88,4			
	E	4,34	15 m	91,3	90,6	94,0	87,6			
	F	4,16	10 m	91,5	90,0	90,0	84,0			

Abb.12a: Vergleich der Schrittfrequenzkurve von Läufergruppen unterschiedlicher Qualifikation.

Abb.12b: Vergleich der Schrittfrequenzwerte der Gruppen an einigen Streckenpunkten (nach Gundlach 1961).

dem Meßtisch den Abstand der Einstichstellen des Spikes und die Fußstellung (sog. Schrittwinkel) mit hoher Genauigkeit bestimmen konnte. Zusätzlich registrierte er die Momentan-Geschwindigkeit der Läufer auf der Strecke. Aus den Wertepaaren der Schritte konnte BALLREICH charakteristische descriptive, analytische, komparative und funktionale Besonderheiten während vier Laufabschnitten feststellen (Abb. 13 a, b, c).

BALLREICH unterteilte seine Probanden nach ihrer Leistungsfähigkeit im 100-m-Sprint in drei Gruppen. Die somatometrischen Merkmale der Läufer sind in allen Gruppen weitgehend in gleichen Verhältnissen vertreten.

BALLREICH erfaßt folgende Meßwerte: Die Reaktionsschnelligkeit, gemessen vom Startsignal bis zur Lösung aus dem Startblock, die somatometrischen Messungen der Sportler, die Schrittlängenverhältnisse innerhalb der drei von ihm gewählten Laufabschnitte und die dazugehörigen Frequenz- und Geschwindigkeitsverhältnisse. Es wurde zusätzlich der Fußstellungswinkel gemessen, gegeben aus dem Fuß in Laufrichtung und der sagittalen Linie, auf der sich der Sportler fortbewegte. Er unterzog diese einer multi-faktoriellen Analyse, um objektive Aussagen über die Größen zu erhalten, die Sprintleistung und Sprintbegabung kennzeichnen.

Darüber hinaus untersuchte er die Parameter und Kombinationen, die entscheidend für die trainierbare Leistungssteigerung in Frage kommen. BALLREICH stellte fest, daß die Varianz der Sprintbeschleunigung bei 51 % seiner Probanden mit der Varianz des Schrittlängen-Index aber nur bei 29 % mit

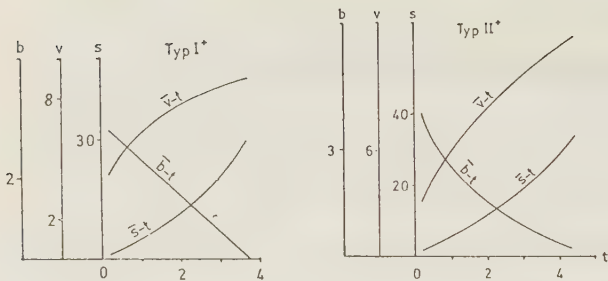


Abb.13a und b: Die graphische Darstellung der Funktionstypen Typ I und Typ II im Laufabschnitt A₂ zeigt, daß im Laufabschnitt A₂ für den Typ I und II eine Beschleunigungsabnahme besteht. Die Geschwindigkeitsverläufe verhalten sich unterschiedlich, aber sind dennoch nicht statistisch signifikant.

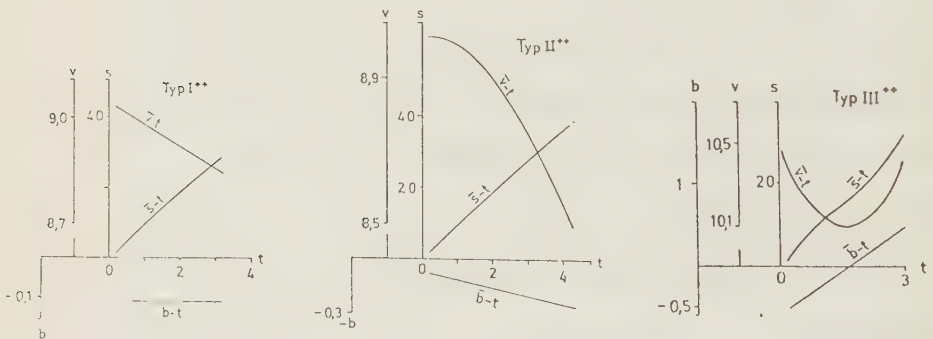


Abb.13c: In Abschnitt A₄ zeigt allein der Typ III eine Beschleunigungszunahme (Endspurt), während Typ I und II in der Geschwindigkeit und Beschleunigung abfallen bzw. konstant bleiben (nach Ballreich 1969).

der des Schrittfrequenz-Index korrelierte. Die Sprint-schnelligkeit konnte zu 90 % aus vorhandenen Faktoren-Strukturen reproduziert werden: 59 % der Varianz der Sprint-Schnelligkeit war erkennbar aus Unterschieden des Schrittlängen-Index und nur 31 % aus Unterschieden des Schrittfrequenz-Index. Beide Ergebnisse weisen auf den dominierenden Einfluß der Schrittlänge gegenüber der Schrittfrequenz hin.

Abb. 13 zeigt die Diagramme, die das Weg-Zeit- (st), Geschwindigkeits-Zeit- (Vt) und Beschleunigungs-Zeit (bt) Verhalten der Typen 1, 2 und 3 wiedergeben.

Aus diesen Darstellungen konnte BALLREICH die in Gruppen unterteilten Sprinter in drei unabhängige Lauftypen einteilen:

Typ 1: Im Abschnitt A_4 ein Vertreter der gleichmäßig beschleunigenden Bewegung

Typ 2: Vertreter der ungleichmäßig beschleunigenden Bewegung

und 3: im Abschnitt A_4 , wobei Typ 2 eine lineare Beschleunigungsabnahme und Typ 3 eine lineare Beschleunigungszunahme aufwies.

Allerdings waren unter den Probanden auch Mischtypen vorhanden, die er für weitere Analysen nicht weiter heranzog, sondern durch die Personenstichprobe eliminierte.

Das Kollektiv der typischen Sprinter bestand dann aus noch insgesamt 22 Läufern, die in der Gruppe 1 zwischen 10,37 bis 11,36 sec., in der Gruppe 2 zwischen 11,43 bis 11,94 sec. und in der Gruppe 3 zwischen 12,25 bis 13,41 sec. liefen.

Für diese Sprinter hat er alle oben beschriebenen Meßwerte

herangezogen und alle möglichen Kombinationen der Merkmale auf Funktionszusammenhänge hin geprüft.

Insgesamt hat er mit diesem Verfahren aufgezeigt, auf welche Weise die systematische Forschung vorzugehen hat. Allerdings standen BALLREICH nicht die notwendige Zahl an Probanden für eine statistisch signifikante Typenanalyse und wahrscheinlich auch nicht die erforderlichen apparativen und personellen Möglichkeiten sowie Zeit zur Verfügung, um zu einem abschließenden Ergebnis zu gelangen. Die Komplexe Sprintleistung teilte B. in folgende Faktoren mit der dazugehörigen Varianzbreite durch Training auf:

<u>Motorische Eigenschaften:</u>	<u>Variationsbreite</u>
Reaktionsschnelligkeit (Startsignal, Lösung aus den Startblöcken)	0,1 sec.
Sprintbeschleunigung (Dauer des Beschleunigungs- abschnittes)	2,6 sec.
Sprintschnelligkeit (maximale Geschwindigkeit)	0,3 sec.
maximale Sprintausdauer (maximales Geschwindigkeits- plateau)	

In der sehr gründlichen Publikation sind für künftige wissenschaftliche Untersuchungen zahlreiche Anregungen enthalten. Es wäre lohnend, folgende Gesichtspunkte BALLREICHS an einem größeren Kollektiv erneut zu untersuchen:

1. Typenanalytische Gesichtspunkte bei leistungsstarken und leistungsschwachen Sprintern
2. Die zeitliche Abhängigkeit der Trainierbarkeit der einzelnen Faktoren
3. Die Effizienz unterschiedlicher Trainingskombinationen und ihre Auswirkung auf die multi-faktorielle Analyse.

ELEKTROMYOGRAPHISCHE UNTERSUCHUNGEN

Zu den Untersuchungsmethoden der Leistungsfähigkeit der Laufmuskulatur wird auch die elektromyographische Untersuchung herangezogen. Während die ersten Untersuchungen von INMAN (1944) noch keinerlei Aufschluß über charakteristische Aktionspotentiale beim Läufer geben konnten, haben LEBEDEV und RATOW (1963) versucht, charakteristische Impulskurven anzugeben und daraus Schlüsse für ein effektives Training zu ziehen.

RATOW sah die Spannungsdauer als einen adäquaten Parameter für den Wachstumsreiz an, weshalb er für das Krafttraining eine Belastung bis zu 90 % der Höchstlast empfahl, bei der die beteiligte Muskulatur über lange Zeit in Aktion war.

LEBEDEV dagegen kam zu dem Schluß, daß die Dauer der elektrischen Aktivität nur dem Kontraktionszustand der Muskulatur entspricht. Entsprechend der langsameren Handhabung schwerer Gewichte war bei gleichem Kontraktionsweg die Aktionszeit auf das Dreifache angestiegen.

Die Spannungsstärke jedoch, die LEBEDEW in der Höhe der einzelnen Amplituden ansprach, blieb durch die Dauer der elektrischen Aktivität unbeeinflusst. Er glaubte, in der Höhe der Amplitude einen adäquaten Indikator für den Wachstumsreiz des Muskels zu sehen. Entsprechend empfahl der sehr schnelle Bewegungen mit submaximalen Gewichten, die nicht über 70 % der Höchstbelastung gehen sollten (Abb. 14).

Wie jedoch die modernen Studien der Elektromyographie am bewegten Muskel zeigen (BASMAJIAN 1968; DEBRUNNER 1968), kann man mit Hilfe der Elektromyographie nur folgende Messungen durchführen:

1. Massen-EMG

- a) Die Zahl in Amplituden der unterscheidbaren Summen-Aktionspotentiale
- b) Die zeitliche Dauer des Erregungszustandes
- c) Die Integration der Summen-Aktionspotentiale

2. Nadel-EMG

liefert je nach Feinheit der Elektrode die Aktivität einer motorischen Einheit oder einiger weniger.

So bleibt für den vernünftigen Einsatz der Elektromyographie beim Sport

- 1. die Beurteilung zwischen Agonisten und Antagonisten bei einer Bewegung. Insbesondere in Kombination mit einer kinematographischen Darstellung können die abgelesenen Aktionspotentiale der entsprechenden Bewegung zugeordnet werden (O'CONNELL 1968, BASMAJIAN 1971).

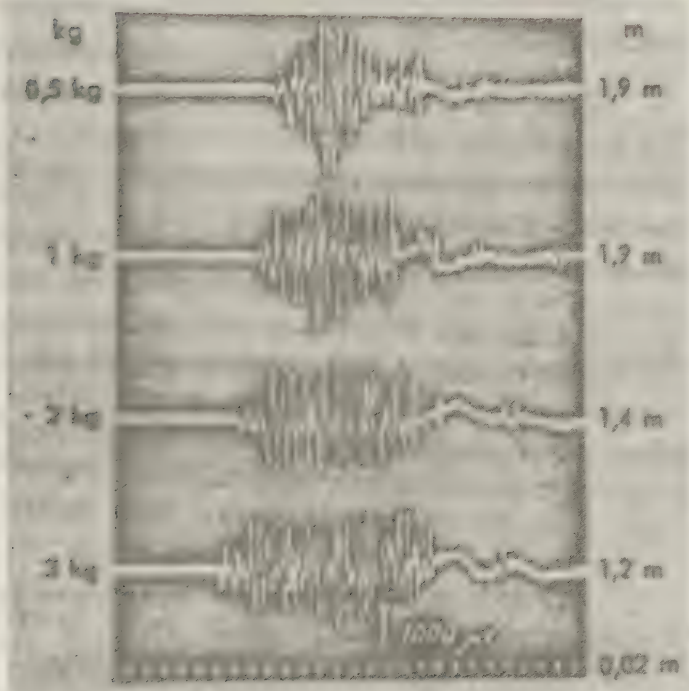


Abb. 14: Leselew interpretierte seine Elektromyogramme so, daß er in der Höhe der Einzel-Amplitude die Summe der einer Bewegung zugeordneten Muskelfasern sah und die entsprechend als Parameter für das Muskelwachstum und Training heranzog. Bei kleinen Gewichten erreichte er mit korrekten Bewegungen die größten Amplituden und offenbar besteht ein Training mit leichten Gewichten und schneller Bewegungen (nach Leselew 1962).

2. die Dauer der Aktivierungsphase sowohl der isometrisch-statischen als auch der isoton-dynamischen Bewegung. Es läßt sich auch die Trainierbarkeit eines Muskels bzw. die Zunahme an einem Bewegungsablauf elektromyographisch verfolgen (DEBRUNNER 1971).

Die Messung der Kraftentfaltung ist unsicher, da sie durch den synchronen Einsatz mehrere motorische Einheiten besitzt. Nicht immer erscheinen sie als einzelne Amplitude in der Impulskurve.

Die Amplitude der Kontraktion, die RATOW als Indikator für den Wachstumsreiz annahm, ist jedoch nur durch die Frequenz der Aktionspotentiale im Nerven und Muskel gegeben.

LEISTUNGSTEST NACH GEORGESCU

Zur Beurteilung der Sprungkraft und der Reaktionsgeschwindigkeit von Sportlern sind Untersuchungen in einem einfachen Test von GEORGESCU (1969) durchgeführt worden.

Der Test besteht aus 30 Hochsprüngen aus dem Stand, bei denen die individuelle maximale Ausgangshöhe als Vergleichspunkt herangezogen wurde.

GEORGESCU stellte zunächst diese Höhe fest durch einen Schlußsprung und forderte dann nach Lichtzeichenangabe den Probanden zu den Wiederholungssprüngen auf. Für die Sprungserie von 30 Sprüngen setzt er die jeweilige Höhe der Einzelsprünge, die Zeit zwischen Lichtzeichen und Absprung sowie die Verweilzeit auf dem Boden zwischen zwei Wiederholungen fest. Auf diese Weise erhält er Parameter für die Schnell- und Sprungkraft, ausgedrückt durch die Höhe, für die Reaktionszeit, wiedergegeben durch den Zeit-

zeit zwischen zwei Sprüngen.

Konditionsschwache Sportler zeigen einen deutlichen Abfall der Sprunghöhe, charakterisiert durch eine Abnahme der Sprungzeit und eine Zunahme der Verweildauer zwischen zwei Sprüngen.

Leider ist der GEORGESCU'sche Test nicht in Zusammenhang mit der Läuferischen Fähigkeit unterschiedlich begabter und trainierter Sportler durchgeführt worden. Es erscheint naheliegend, daß mit Hilfe dieses Tests auch für Laufsportler Aufschluß über den Trainingszustand gewonnen werden kann. Insbesondere würde sich wahrscheinlich ein kontrolliertes Training der Stützphase beim Läufer mit dieser Methode ableiten lassen.

TRAININGSMETHODEN

Wesentliche Trainingsverbesserungen des Laufes resultieren aus der zweckmäßigen Anwendung eines ausgewogenen isometrisch statischen und isoton-dynamischen Krafttrainings. Die Steigerung der maximalen Kraft ohne Berücksichtigung selektiv bedeutsamer Muskelgruppen und ohne Unterscheidung der Kraftform, dynamisch oder statisch in Bezug auf die gewünschte Kraft, ist heute für das Krafttraining kontraindiziert. Auf die einzelnen Untersuchungen dieses Problemkreises über die Wirksamkeit des isometrischen bzw. isotonischen Muskeltrainings soll näher eingegangen werden.

TSCHUDINOW (Allunionskonferenz 1956) maß den statischen Kraftübungen beim Training von Leistungssportlern (Technikern und Läufern) die größte Wirksamkeit zur Steigerung der sportlichen Leistung bei.

Seine Testergebnisse über die Leistungsverteilung unter seinen Probanden im Lauf über 30 m, im Hochsprung und im Weitsprung aus dem Stand, sprechen dafür, daß ein statisches Krafttraining auch für Sprinter große Vorteile bietet.

1960 untersuchte er mehrere Gruppen von Sportlern verschiedener Disziplinen, die einerseits einem bevorzugt dynamischen und andererseits einem bevorzugt statischen Krafttraining unterzogen worden waren. Dabei entfielen auf die bevorzugt dynamisch Trainierenden hauptsächlich die Sprinter, während die Techniker zu den bevorzugt statisch trainierenden Sportlern gehörten.

Seine Probanden waren Höchstleistungssportler aus der Sowjetunion und anlässlich eines Länderkampfes im Jahre 1958 auch Hochleistungssportler aus den USA. Er kam zu dem Ergebnis, daß in den von ihm gestellten Testleistungen die bevorzugt statisch trainierenden Techniker bessere Sprung- und Sprintleistungen auf der 30-m-Distance hatten als die bevorzugt dynamisch trainierenden Sprinter.

Bei dem Vergleich zwischen den USA-Leichtathleten und denen der Sowjetunion führte er die läuferisch besseren Leistungen bei den USA-Sportlern auf eine bevorzugt statisch-isometrische Trainingsform in den USA zurück.

Zu den Ergebnissen TSCHUDINOW's müssen wir heute sagen, daß er die beiden Arten des Muskeltrainings einseitig und exklusiv

alternativ behandelt, angewendet und interpretiert hat. Beim Sprinter kann durch statisch-isometrisches Krafttraining die Beschleunigungsphase auf den ersten 30 Metern und auch die auf den letzten 10 Metern verbessert werden. Für die Gesamtleistung des Sprinters ist aber auch das Halten der maximalen Geschwindigkeit in der Plateau-Phase ausschlaggebend. Für diese Phase ist aber eine dynamische Trainingsform zu wählen.

SOLIMAN (1964) und SCHMITZ (1971) haben dann auch festgestellt, daß die maximale Sprungkraft, gekennzeichnet durch Hoch- und Weitsprünge aus dem Stand, keine Aussage über den positiv beschleunigenden Anteil der Kraft während der Stützphase beim Lauf in den mittleren Streckenabschnitten zuläßt. Zur Entwicklung der maximalen Kraft sind mindestens 0,7 sec. notwendig. Diese können bei diesen Testsprüngen weitgehend ausgenutzt werden. Die gesamte Stützphase beim Sprint beträgt damit bei maximaler Geschwindigkeit jedoch höchstens 0,1 sec. Sie haben damit dargelegt, daß die zum Schlußsprung mögliche Ausnutzung der Maximalkraft innerhalb der Stützphase gar nicht eingesetzt werden kann. Auf diese Weise sind die Bedenken gegen das Trainieren auf maximale Kraftentwicklung für Sprinter hinreichend belegt.

In einer breit angelegten Untersuchung prüfte BERGER (1962), in welcher Weise die Häufigkeit von ein über den anderen Tag ausgeführten Kraftübungen die Effektivität des Muskeltrainings gewährleistet. Dabei lagen die Probanden mit dem Rücken auf einer Bank und drückten Gewichte mit den Armen senkrecht vor der Brust hoch. Die Gewichte wurden allmählich gesteigert, zwischen 5 und 2,5 kg. Die Häufigkeit der Übung in den einzelnen Gruppen war 2-, 4-, 6-, 8-, 10- und 13 mal.

Die effektivste Steigerung der Kraft beobachtete er in der Gruppe, die die Übung achtmal wiederholt hatte, während alle Probandengruppen mit weniger oder mehr als acht Wiederholungen deutlich in ihren Leistungen zurückblieben. Die Versuchsdauer betrug 12 Wochen. Die für die Armmuskulatur günstige Kraftübung übertrug er (ohne entsprechende Experimente durchgeführt zu haben) auch auf die Beinmuskulatur.

An eineiigen männlichen Zwillingen versuchten MELLER und STOBOY (1968), die Effektivität von isometrischen und dynamischen Trainingsmethoden zu vergleichen.

Der dynamisch Trainierende hatte Schultergewichte aufgelegt und mußte Kniebeugen bis zum rechten Winkel in den Knien durchführen, wobei die Anzahl der Kniebeugen von 3 auf 5 und das Gewicht jeweils um 10 kg gesteigert worden ist. Zwischen den Serien wurden Pausen von 90 bis 120 sec. eingehalten.

Der statisch Trainierende mußte maximal isometrische Kontraktionen ausüben, wobei der Unterarm im rechten Winkel gebeugt war und ein Sprungseil hielt, auf dem der Sportler mit gestreckten Beinen stand. In einer zweiten Übung stand dieselbe Versuchsperson im Türrahmen und drückte mit rechtwinkling gebeugtem Unterarm in den Türrahmen. Die Übungsdauer betrug 5 sec. Die Pausen waren gleich lang wie bei der dynamisch trainierenden Person. Die Effektivität der jeweiligen Trainingsmethode wurde nach 3 Wochen festgestellt durch: 1. Messen der Unterschenkel-Streckkraft im Hettinger-Stuhl, 2. Messen der Sprungkraft mit einem Sprungseil.

sprünge aus dem Stand und 30-m-Lauf aus dem Hochstart. Aus diesen Tests wollen die Autoren herausgefunden haben, daß durch das dynamische Training die Kraft der Unterschenkel-Strecker um 12,2 % zugenommen hat, während die Steigerung bei der statisch trainierenden Person bei 18,5 % lag. Die Sprintleistung war in beiden Fällen gleich, und die Sprungleistung zeigte mit 3 bzw. 3,5 % bei der dynamisch bzw. statisch trainierenden Person auch keine signifikanten Unterschiede.

Die Autoren ziehen daraus den Schluß, daß dynamisches Training die Kontraktionsgeschwindigkeit bei geringem Kraftgewinn steigert, während das isometrisch statische Training mehr die Kraftentwicklung des Muskels fördert.

Kritisch bleibt zu dieser Untersuchung zu bemerken, daß kein klarer Zusammenhang zwischen den gewählten Übungen besteht und somit auch nicht hervorgeht, daß bei den gewählten statischen bzw. dynamischen Übungen der gleiche Kraftaufwand zugrunde liegt. Ein solcher Vergleich erscheint nur dann möglich, wenn zusätzlich physiologische Parameter wie Sauerstoffverbrauch, Puls- und Atemfrequenz sowie Milchsäurespiegel hinzugezogen werden.

Obwohl man heute den gemischten Formen des Muskeltrainings den Vorzug einräumt, gibt es dennoch eine Reihe namhafter Trainer, die den dynamischen Trainingsformen weiterhin anhängen. Rein dynamische Trainingsformen werden in den früheren Trainingsanweisungen von NETT (1960) beschrieben, der den

empirisch ermittelten Ermüdungswiderstands-Index für Trainingslaufzeiten angibt, aber noch kein Krafttraining für Läufer empfiehlt.

Dies schluß er erst im Jahre 1971 vor.

WINTER (1971) empfiehlt in seinen Trainingsanweisungen für den Sprinter auch jetzt noch nicht das Muskeltraining mit Gewichten. Seine Forderungen an den Trainer richten sich nur auf Erhöhung der Schrittzahl, die Verlängerung der Schrittlänge und das Halten der maximalen Geschwindigkeit beim Sprinter. Er will dies allein durch Laufübungen erreichen und durch die damit einhergehende nervöse Bahnung der kinematischen Laufkette. Er legt besonderen Wert auf den Laufstil mit betontem Vorschwingen der Arme, kombiniert mit Knieschub.

HOCHMUTH (1968) hatte jedoch die betonte Armbewegung abgelehnt, da sie als Teilimpuls nur bedingt in die positiv beschleunigende Bewegung eingeht und bei Oberbetonung sogar ein negativ wirksames Drehmoment hervorruft. Die Teilimpulse müssen aufeinander abgestimmt und koordiniert bleiben. Man kann die Aussagen WINTERS nicht in die Reihe der biomechanischen Untersuchungen einordnen, da sie nur auf den individuellen Betrachtungen und Erfahrungen dieses allerdings erfolgreichen Trainers beruhen. Eine bevorzugt dynamische Trainingsweise für Sprinter empfiehlt OSOLIN (1971) in Form der Tempo-Wechseläufe mit kräftigem Abtritt, freiem Lauf bis zur Mitte der Strecke und einem schnellen Finish. Die Abschnitte betragen 30 m, die Gesamtstrecke 200 m.

Nach dieser Methode wurde der erfolgreiche Olympia-Sieger 1972 BORISOV (UDSSR) trainiert.

- Die erste konsequente Untersuchung über rein statisches, rein dynamisches und kombiniertes statisch-dynamisches Muskeltraining führte CERCACIN (1954) an Läufern durch. Hierbei wurden die Gewichtslasten beim statischen und statisch-dynamischen Training an Beinen und Taille oder auf der Schulter angebracht. Die Übungen bestanden
- in Gruppe 1: Laufen mit hohem Anheben der Oberschenkel und Sprunglauf
 - in Gruppe 2: Dieselben Aufgaben wie Gruppe 1 mit Gewichten von 3 kg an der Taille und je 550 g an beiden Schienbeinen
 - in Gruppe 3: Heben des rechten Beines mit 15 kg Belastung und Aufstehen aus der Hocke auf die Fußspitze mit 60 kg Belastung über den Schultern
 - in Gruppe 4: Zuerst dieselben Aufgaben wie in Gruppe 1 und 2 mit Gewichten und danach ohne Belastung.
- Daraus resultiert die doppelte Anzahl der Übungen.

Mit jeder Gruppe wurden insgesamt 22 der genannten Aufgaben durchgeführt. Es wurden am Anfang der Trainingsperiode die statische und dynamische Kraft und Schnelligkeit gemessen. Statisch wurde die Kraft durch Steigerung der Belastung beim Heben des rechten Beines und beim Aufstehen aus der Hocke auf die Fußspitze gemessen.

Dynamische Kraftmessungen erfolgten beim Sprunglauf in der

Horizontalen und Vertikalen sowie durch einen Schnelligkeitstest, bei dem die Laufgeschwindigkeit 10 m nach dem Start, die maximale Geschwindigkeit überhaupt und die Geschwindigkeit 30 m nach dem Start mittels eines Speedographen nach ABALAKOW festgelegt wurde.

Unter den vier Trainingsgruppen waren die Leistungssteigerungen in der Gruppe 4 am deutlichsten.

CERCACIN schloß daraus, daß eine Leistungssteigerung am ehesten aus der Kombination der Förderung der statischen und der dynamischen Kraft zu erwarten ist. Er empfiehlt eine allmähliche Gewichtsbelastung, aber nur bis zu submaximalen Werten. Dies ist so lange der Fall, wie in den anschließenden Schnelligkeitstests noch eine Steigerung der Leistung möglich war. Er hält eine Belastung bei statischen Übungen bis zu 50 % der Höchstbelastung für besonders günstig. Diese Trainingsangabe wurde für die Sprinttrainer richtungsweisend (STEINBACH 1966, LETZELTER 1972).

WERSCHOSHANSKIJ und SEMJONOW (1971) haben in ihren statisch-dynamischen Trainingsanweisungen die von DYZON und DONSKOI beschriebene kinematische Kette der Laufmuskulatur besonders berücksichtigt (Abb. 15) In ihrem Trainingsprogramm werden diese Muskelgruppen besonders gefördert. Auf diese Weise kann gezielt die vorwiegend beim Sprint tätige Muskulatur gekräftigt werden. Ein umfassendes Training kann vorteilhafter unterbleiben und hierdurch der antrainierte Gewichtszuwachs für den Läufer klein gehalten werden. Speziell bei den Beugern

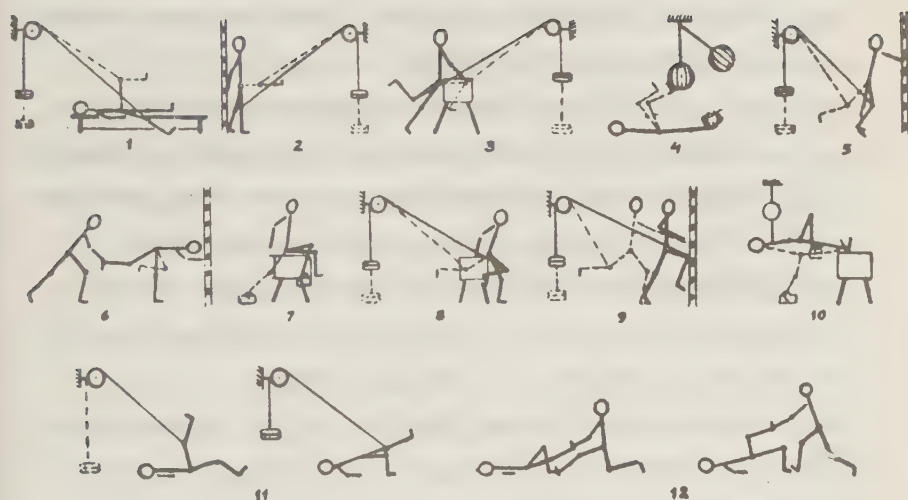


Abb. 15: Werschoshanski empfiehlt ausschließlich das Training der Muskeln der für den Lauf angewendeten kinematischen Kette. Jedes darüberhinausgehende Muskeltraining bringt mit der Gewichtszunahme mehr Ballast und erfordert damit unnötigen Kraftaufwand (nach Werschoshanski und Semjonow 1971).

und Streckern der kinematischen Kette nimmt die Kraft auf diese Art und Weise um etwa 130 % zu (Abb. 17), was besonders die Explosivkraft sowohl beim Start als auch in der Stützphase fördert. Während es das Verdienst von CERCACIN (1954) bleibt, für das statisch-dynamische Training die Gewichtsbelastung in der richtigen Weise eingesetzt zu haben, können WERSCHOSHANSKI und SEMJONOW für sich in Anspruch nehmen, die Fokussierung des Krafttrainings besonders wichtiger Muskelgruppen eingeführt zu haben.

Außerdem haben sie darauf geachtet, daß die Explosivkraft oder die schnelle Kraftentfaltung, der eine größere Bedeutung als der maximalen Absolutkraft zukommt, im Training gefördert wird. Zur Steigerung der maximalen Absolutkraft dient ein Gewichtstraining mit 80 % der Höchstbelastung bei 3-5 Übungen, während sie die Explosivkraft bei nur 15 % der Höchstbelastung bei 15-20 Übungen fördern.

Damit reduzieren sie die von CERCACIN für das allgemeinen Muskeltraining empfohlene Belastung für die Muskeln der kinematischen Kette erheblich.

NETT (1972) kommt ebenfalls in seinen neueren Trainingsvorschlägen zu dem Schluß, daß sich die Trainingsmittel nach der motorischen Spezifität zu richten haben. Die Abkehr vom allgemeinen körperlichen Training zum Primat der Spezialisierung ist schon frühzeitig erforderlich, wenn man eine Höchstleistung erzielen will. Diese besteht in einer funktionellen Vervollkommenung und in einer frühzeitigen Spezialisierung der neuromotorischen Mechanismen.

Die Sonderform eines gezielten Muskeltrainings in Form des "isokinetischen Krafttrainings" empfiehlt KROGER im Jahre 1972 als besondere Übergangslösung für den verletzten Sprinter in der Rekonvaleszenz-Zeit.

Dabei wird die Laufbeschleunigung möglichst vermieden und die Laufgeschwindigkeit gleich gehalten.

Beim Krafttraining wird die Gewichtsbelastung variiert. Diese Trainingsform soll Muskeln, Bänder und Knochen am schwächsten Glied der Leistungskette dem gesunden Anteil des Bewegungsapparates langsam angleichen.

Das isokinetische Training muß beim rekonvaleszenten Sprinter nach und nach durch das dynamische Explosivtraining ersetzt werden. Es ist auf die physiologische Veränderung des Bandapparates, der Muskulatur und des Knochen-systems abgestellt.

DISKUSSION UND AUSBLICK

Biomechanische Untersuchungen dienen dazu, individuelle Bewegungseigenschaften zu analysieren und ihre Trainierbarkeit innerhalb der muskulären Wirkungskette des Bewegungsablaufes zu überwachen. Sie waren von der Entwicklung der Methoden abhängig und sind mit der Verbesserung technischer Möglichkeiten in ihrer Aussagekraft gewachsen.

Die Untersuchungsmethoden blieben zunächst descriptiv, d.h. sie beschrieben erhobene Befunde über Laufmerkmale, einschließlich der Schrittlänge-, frequenz, Flug- und Stützdauer, Reaktionszeiten, die Messungen über Geschwindigkeit und Beschleunigung in bestimmten Laufabschnitten oder die Kraftmessungen während der Stützreaktion. Aus diesen Einzelmessungen ging hervor, daß der Schrittlänge die größte Bedeutung unter den genannten Laufmerkmalen zukommt. Die einzelnen Parameter dürfen aber nicht unabhängig voneinander beurteilt werden. Sie stehen in mehr oder weniger direktem Zusammenhang miteinander, und es muß im Einzelfall festgestellt werden, an welcher Stelle der Kausalkette eine Leistungssteigerung zu einer Verbesserung der Laufleistung führt. In dieser Weise hat SCHMITZ (1971) aus der Beziehung zwischen Stützpuls (definiert: pro Kilopond Körpergewicht pro Stütz) und Schrittlänge zusätzliche effektive Hinweise für die Leistungsverbesserung gewinnen können. Er baut auf den Untersuchungen von SOLIMAN (1964) auf. WERSCHOSHANSKIJ und SEMJONOW (1971,1972) haben die muskuläre Wirkungskette bei der Laufbewegung für das Krafttraining in besonderer

Weise berücksichtigt. Beschrieben wurde diese bereits von DONSKIJ (1961) und DYZON (1961). Ein solches selektives Training vermeidet eine Gewichtszunahme bei den für die läuferische Bewegung nicht notwendigen Muskeln.

Eine unvollständige Interpretation des Geschwindigkeitsverhaltens auf der 100 m Strecke führte in den Fünfzigerjahren zu einer unvorteilhaften Trainingsanweisung für den Läufer. TSCHUDINOW (1956 und 1960) hat im Vergleich zwischen Technikern und Läufern eine günstigere Beschleunigung auf den ersten 30 m bei den bevorzugt statisch trainierenden Technikern feststellen können. Aus diesem Ergebnis zog er den Schluß, daß ein solches Training mit Höchstbelastung wirkungsvoller für den Sprint, als ein dynamisches Training sei. Diese Konzeption erwies sich aber im Speedogramm nach dem 30 m Abschnitt als falsch, da es beim Sprint nicht allein auf den Beschleunigungsabschnitt, sondern auch auf das anschließende Halten der maximalen Geschwindigkeit ankommt. Diese Eigenschaften können durch statisches Training nicht erreicht werden, wie sich auch bei genauerer Prüfung statisch oder dynamisch trainierter Sportler zeigte (STEINBACH 1966, WINTER s. LETZELTER 1972). Intuitiv folgte auch CERCACIN (1956) dieser Erkenntnis über das Krafttraining. Er blieb beim Krafttraining unter den Höchstgewichten und ließ nur solche Belastungen zu, bei denen der Trainierte noch seine Laufgeschwindigkeit steigern konnte. Diese Belastung betrug etwa 50 % des Höchstwertes, WERSCHOSHANSKIJ

und SEMJONOW (1971) und SCHMITZ (1971) haben kausale Zusammenhänge erkannt und berücksichtigt. Man weiß heute, daß nur 0,1 Sekunden für die gesamte Stützphase während eines Laufschrilles zur Verfügung stehen, während die Dauer bis zur Erreichung der maximalen Kraft mindestens 0,7 Sekunden beträgt. Beim Start und während des Laufes kommt es auf die "explosive Kraft" an, die nicht durch alleiniges Training der Maximalkraft entfaltet oder gesteigert werden kann. Die schnelle Kraftentfaltung wird bei Sprintern mit einer Belastung bis zu höchstens 20 % der Höchstbelastung mit einer allmählichen Zunahme der Übungsanzahl bis auf 20 erreicht (WERSCHOSHANSKI, 1971). An dieser Stelle wird klar, daß die Ergebnisse biomechanischer Untersuchungen nur dann nutzbringend als Trainingshilfe herangezogen werden können, wenn sie den physiologischen Gegebenheiten des Organismus auch wirklich Rechnung tragen. Es muß jedoch betont werden, daß es sicherlich noch eine große Zahl weiterer physiologischer Faktoren gibt, deren Berücksichtigung noch nicht möglich ist. Mit der Anwendung von Anabolika greift man bereits in den Stoffwechsel ein, ohne jedoch mehr darüber zu wissen, als daß die Muskelmasse vergrößert wird. Die Diskussion wendet sich bereits der Frage zu, inwieweit durch individuelle enzymatische Eigenschaften der Muskelzelle, die man durch biopsische Aufarbeitung objektivieren kann, doch ein bestimmtes Training beeinflußt wird. Ein neuer Wert für die Auswertung von biomechanischen

Versuchsergebnissen ist durch den Einsatz von Computern geöffnet worden. BALLREICH (1969) hat die fortlaufend registrierte Messungen der Weg-Zeit-Merkmale (Schrittlänge-, frequenzen, Seitigkeiten, Beschleunigungen und Geschwindigkeiten auf den einzelnen Streckenabschnitten) einer multifaktoriellen Analyse unterzogen. Auf diese Weise ist die Möglichkeit gegeben, alle Daten miteinander zu korrelieren. Leider ist es ihm bisher noch nicht gelungen, eine Aussage zur Typenanalyse zu machen. Gerade dieses wäre nach biomechanischen Gesichtspunkten ein wesentlicher Beitrag für die Talentsuche. Es ist zu erwarten, daß die konsequente Datenauswertung in naher Zukunft unser bisheriges Wissen bereichern wird.

Die schnelle Kraftentfaltung der Muskulatur beim Start und in der positiven Stützphase hängt auch ab von der Schnelligkeit nervaler Mechanismen. Dieses kommt in der Reaktionsgeschwindigkeit zum Ausdruck. Spitzensprinter wie HARY (1960) und BORSOW (1972) zeigten eine außerordentlich kurze Reaktionszeit. Es ist allgemein bekannt, daß die Reaktionszeit die geringste Trainingsvarianz aufweist. Sicherlich ist sie von individuellen neurophysiologischen Eigenschaften ebenso wie die muskuläre Bahnung eines Bewegungsablaufes abhängig, und es bedarf noch der Klärung, inwieweit und auf welche Weise diese Faktoren trainierbar sind und wie man am besten diese Eigenschaften frühzeitig erkennt. Für die Talentsuche nach Sprintern wäre ein solches Verfahren zweifellos von großem Wert.

Für die biomechanischen Untersuchungen bei der Talent-suche bleiben folgende Fragen offen:

Welche Methoden sind geeignet und welche Ausstattung eines Trainingszentrums sind notwendig, um eine optimale Bewertung eines Läufers zu gewährleisten? Für die kinematographische Analyse ist aus der Arbeitsmedizin der Video-Recorder bekannt, mit dessen Hilfe ein Bewegungsablauf gespeichert und umgehend verlangsamt (im Gegensatz zum Film) wiedergegeben werden kann. Andere kinematographische Methoden wie Stroboskopie, Lichtspurfilm oder Filmaufnahmen sind nur für die Teilfragen heranzuziehen und sind nicht für die sofortige Verwendung beim Training zu benutzen. Jede kinematographische Untersuchungsmethode ermöglicht jedoch nur eine Korrektur der Haltung und nicht eine direkte Leistungsbemessung.

Erst die Verbindung mit einer dynamographischen Meßeinrichtung ermöglicht neben der Korrektur auch eine teilweise Beurteilung der Leistung. In Form eines ortsabhängigen oder ortsunabhängigen Dehnungsmeßstreifenprinzips kann eine detaillierte Aussage über das Verhalten der Kraftvektoren während einer Stützphase gewonnen werden. In der Form des Hodogramms konnte SOLIMAN (1964) sehr eindrucksvoll und für den Läufer selbst leicht interpretierbar die Kraftvektorenverläufe während der Stützphase darstellen. Die Kombination einer solchen dynamographischen Meßeinrichtung mit der oben erwähnten kinematographischen Methode ist förderlich,

um Sofortkorrekturen und Leistungsvariationen unmittelbar zu erkennen.

Die Schrittlängenkontrollen, die als Leistungsparameter mit der größten Trainingsvarianz objektiviert werden konnten, gewinnt man durch eine maßstäblich kinematographische Methode oder durch direkte Ausmessung der Schrittlänge auf dem entsprechenden Streckenabschnitt. Ihre Bewertung sollte immer in Verbindung mit einem Speedogramm (IKAI 1967) vorgenommen werden, da nur der Verlauf auf der gesamten Strecke leistungsrelevant ist.

Als ein dem Trainer zur Verfügung stehender objektiver Leistungstest, ist der von GEORGESCU beschriebene Sprungtest auf seine Verwendbarkeit für den Läufer hin zu untersuchen. Dabei ist die Frage zu beantworten, inwieweit Sprunghöhe mit der Schrittlänge, die Verbindungslinie der Höhen der Einzelsprünge mit dem Plateau der maximalen Geschwindigkeit und die Wiederholungszeit mit der Reaktionsgeschwindigkeit korrelieren. Die Untersuchung bietet sich wegen ihrer Einfachheit an und läßt sich später auch in einfachen Trainingsanlagen nachvollziehen.

Für das Krafttraining konnten WERSCHOSHANSKIJ und SEMJONOW (1971) unter Berücksichtigung der kinematischen Muskelkette eine Belastung um 20 % der Höchstwerte als effektivste Form ermitteln. Es dürfen sich keine starren Trainingsprinzipien durchsetzen, sondern vielmehr werden individuelle

Anpassungen notwendig sein und schließlich die Gewichtsbelastungen zwischen 20 und 40 % des maximalen Wertes bei den einzelnen Läufern variieren.

Es bleibt noch zu erwähnen, daß psychologische Eigenheiten, die GOROSHANIN (1970) in den Läufergruppen unterschiedlich mit einer statistischen Signifikanz angehäuft fand, bei der Talentsuche Berücksichtigung finden müssen. Allerdings ist zu fordern, daß eine solche Untersuchung nicht vor dem 14. bis 16. Lebensjahr stattzufinden hat, da nach IKAI's speedographischen Untersuchungen erst in diesem Alter die neuromuskuläre Koordination eines 100 m Laufes möglich ist.

LITERATURVERZEICHNIS

- 1.) ABALAKOW, W.M.: Die Grundlagen des Alpinismus.
Diss. Moskau, 1950
- 2.) BALZER, E.: Prinzipien der Biomechanik von Sprung, Lauf
und Wurf.
Diplomarbeit, Freiburg, 1966
- 3.) BASLER, S.A.: Neue Untersuchungen über die beim Gehen nach
abwärts wirkende Kraft.
in: Arbeitsphysiologie 1934, Heft 2
- 4.) BALLREICH, R.: Weg- und Zeitmerkmale von Sprintbewegungen
Ein Beitrag zur Bewegungslehre der Leibes-
übungen.
Inauguraldissertation Philosophische Fakultät
Frankfurt/Main, 1969
- 5.) BALLREICH, R.: Die biomechanische Bewegungsanalyse.
In: Leichtathlet Nr. 43 S. 1535-1538, 1971
- 6.) BALLREICH, R.: Physikalische Begründung der besseren Wir-
kung der mittelweiten Fußstellung.
Trainingsbuch der Leichtathletik (T.NETT),
1960
- 7.) BARTUSEK, B.: Trainingserfahrung auf der Tartanbahn
Leichtathletik Nr. 25 S. 884, 1972
- 8.) BASMAJIAN, I.V.: The present status of electromyographic
kinesiology.
Biomechanic II, 1968, Karger, Basel-New York
- 9.) BERGER, A.: Effektivität unterschiedlicher Wiederholungs-
serien im Krafttraining.
Research Quarterly, Washington (1962)
- 10.) BERNSTEIN, N.A.: Die kymozyklographische Methode der Bewe-
gungsuntersuchung.
In: Handbuch der biologischen Arbeitsmetho-
den. (E. Abderhalden) Abt. 5 Teil 5 a
Berlin-Wien 1926
- 11.) CERCACIN, P.: Entwicklung von Kraft und Schnelligkeit bei
Kurzstreckenläufern.
Legskaja Atletika 12, Moskva, 1956
- 12.) CERCACIN, P.: Die Bedeutung des Anreizes von Belastung bei
speziellen Laufübungen.
Sbornik Trudov Vypusk I Moskva 1958

- 13.) CLASING, D., DURUSOY, F. P.,
VOGLER, G., TITZE, M.,
KNOTH, H., WEDEMEYER, H. J.,
KLAUS, E. I.: Untersuchungen über die Auswirkung von
unterschiedlichem Lauftraining auf die
körperliche Leistungsfähigkeit von Rekru-
ten.
Sportarzt und Sportmedizin 12, Köln, 1966
- 14.) CZERNY, F.: Grundlagen des Kurzstreckenlaufes.
Leichtathletik Turn- und Sportverlag 27,
Murtten-Zürich, 1958/1959
- 15.) DEBRUNNER, H. U.: Qualitative Electromyography by Impulse
Frequency analysis.
Medizin und Sport Vol. 6 od. Biomechanics
II S. 304-307, Karger, Basel-New York, 1971
- 16.) DICKENSEN, A. D.: The effect of fast spacing on the starting
time and speed in sprinting and the re-
lation of physical measurements to foot
spacing.
Research Quarterly 5, Washington, 1934
- 17.) DONSKOIJ, D.: Biomechanik der Körperübungen.
Sportverlag, Berlin, 1961
- 18.) DONSKOIJ, D.: Bewegungsprinzipien der Biomechanik im
Sport.
Biomechanics I, S. 150-154, Karger,
Basel-New York, 1968
- 19.) DYZON, G. H.: The Mechanics of Athletics.
University of London Press, London, 1961
- 20.) FRANCOLLIN, M. R.: Zur Funktion diploneurer Muskeln im Geh-
akt des Menschen.
Zürich, 1941
- 21.) FURUSAWA, K., HILL, A.,
PARKINSON, J. L.: The dynamics of sprint running
Proc. Royal society Band 102 (1928)
- 22.) GIESEN, L. G.: Hypnose und Training.
Ljpkaja atletika Heft 2, 1971
- 23.) GEORGESCU, M.: Eine Methode zur Messung der Leistungs-
fähigkeit und einige Parameter der Motorik
bei harten und kurzdauernden Belastungen.
Sportarzt und Sportmedizin 1, Köln, 1969
- 24.) GOROSHANIN, W.: Psychologische Grundlagen der Sprintveran-
lagung.
Ljokaja atletika Moskau, 1970
- 25.) GROH, H., BAUMANN, W.: Kinematische Bewegungsanalyse
Biomechanik II, Karger, Basel-New York,
1968
- 26.) GROH, M.: Zur Geschichte der Untersuchung des
Ganges des Menschen.
Diss. Med. Fak. der Universität des Saarlan-
des, 1965

- 27.) GUNDLACH, H.: Untersuchungen über den Zusammenhang zwischen Schrittgestaltung und Laufgeschwindigkeit bei 100 m Läufern und Läuferinnen unterschiedlicher Qualifikationen. Diss. DHFK Leipzig, 1961
- 28.) HENRY, F.M.: Force-time Characteristics of the Sprint start.
The Research Quarterly of the American Association for Health.
Physical Education and Recreation 23, 1952
- 29.) HENRY, F.M., TRAFTON, I.V.: The velocity curve of sprint running.
The Research Quarterly of The American Association for Health.
Physical Education and Recreation 23, S.104-122, 1951
- 30.) HETTINGER, Th., HOLLMANN, W.: Trainierbarkeit der Gliedmassen und Rumpfmuskulatur bei Frauen und Männern.
Sportarzt und Sportmedizin 11, Köln, 1964
- 31.) HETTINGER, Th., HOLLMANN, W., REITER, H., PIETZNER, E.: Dynamometrische Messungen an Muskeln.
Sportarzt und Sportmedizin 1, Köln, 1969
- 32.) HETTINGER, Th.: Isometrisches Muskeltraining.
3. Auflage Thieme-Verlag, 1968
- 33.) HOKE, R., SCHMITH, O.: Grundlagen und Methoden der Leichtathletik.
J.Barth-Verlag, München, 1957
- 34.) HOKE, R.: Die Anwendung zweckmäßiger Trainingsstrecken beim Lauftraining.
Leichtathletik, Turn- und Sportverlag, Murten-Zürich 25, 1958
- 35.) HOCHMUTH, G.: Biomechanik, Anleitung für das Fernstudium.
Deutsche Hochschule für Körperkultur, Leipzig, 1962
- 36.) HOCHMUTH, G.: Untersuchungen über den Einfluß der Absprungbewegung auf die Sprungweite beim Skispringen.
Diss.Fak.für Maschinenbau, TH Dresden, 1958
- 37.) HOCHMUTH, G., MARHOLD, G.: Biomechanische Untersuchungen im Sport 1.
Theorie und Praxis der Körperkultur 12, 1957
- 38.) HOCHMUTH, G.: Das Prinzip der Gegenwirkung.
Theorie und Praxis der Körperkultur 6, 1960
- 39.) HOCHMUTH, G.: Biomechanische Prinzipien.
Biomechanik I S.155-160, Karger, Basel-New York, 1968

- 40.) IKAI, M.: Die Geschwindigkeitskurve beim Kurzstreckenlauf. (The Dynamics of Sprint Running with Respect to the Speed Curve). Referat I. Internationales Seminar für Biomechanik, Zürich, 1967
- 41.) INMAN, T.V., SAUNDERS, I.B., ALPOTT, L.C.: Observations on the function of the shoulder joint. I. Bone J. Surgery 26 1-30, 1944
- 42.) INMAN, T.V.: Human Locomotion. Canad. Med. Ass. J. 94, 1966
- 43.) ISRAEL, S.: Umfangs- und Volumenänderung der unteren Extremitäten bei Läufern und Radrennern. Sportarzt und Sportmedizin 5, Köln, 1959
- 44.) JOHANNISMEIER, H.: Physiologische Probleme des Marathonlaufes. Leichtathletik 10 S.1425, 1971
- 45.) KALEDIN, S., KARPENKO, L., LESCHKEWITSCH, L., TSCHAPOWETZ, N., BOGUSLAWSKI, M., JAKIMENKO, T., MAXIMOWA, L., SCHECHTEL, A.: Steigerung der Intensität im Lauftraining jugendlicher Sprinter. Leichtathletik 2, S.53-56, 1972
- 46.) KROGER, A.: Die Anwendungsmöglichkeiten des isokinetischen Krafttrainings für die Leichtathletik. Leichtathletik 16, S.558, 1972
- 47.) KOHN, O.: Korrelation zwischen Atemanhaltevermögen und Laufzeit für 100 m. Sportarzt und Sportmedizin 4, Köln, 1959
- 48.) LEBEDEW, G.: Elektromyographische Untersuchung eines Bewegungsablaufes bei Werfern. Legskaja Atletika 8, Moskva, 1962
- 49.) LETZELTER, M.: Die Trainingsmethoden Bud Winters USA Leichtathletik Nr.7 Heft 2, 233-236, 1972
- 50.) LUKAS, G.: Die Körperkultur in frühen Epochen. Sportverlag Berlin, 1969
- 51.) MAREY, E.J.: Le mouvement Masson, Paris, 1894
- 52.) MELLER, W., MELLEROWICZ, H.: Vergleichende Untersuchungen über Dauertaining mit verschiedener Häufigkeit, aber gleicher Arbeit und Leistung an eigenen Zwillingen. Sportarzt und Sportmedizin 12, Köln, 1968
- 53.) MELLER, W., STOBOY, H.: Der Einfluß eines statischen und dynamischen Kurztrainings auf verschiedene Formen muskulärer Aktivität. Sportarzt und Sportmedizin 5, Köln, 1968

- 54.) NETT,T.: Das Training des Kurz-, Mittel- und Langstreckenläufers.
Limpert-Verlag, Frankfurt, 1954
- 55.) NETT,T.: Der Lauf: Das Übungsbuch der Leichtathletik 1.
Verlag Bartels und Wernitz, Berlin, 1960
- 56.) NETT,T.: Teststellung vom Begriff des Lauftrainings.
Die Lehre der Leichtathletik, Leichtathletik 24, 1968
- 57.) NETT,T.: Grundlagen des spezifischen Krafttrainings im Sport.
Leichtathletik 15, S.524, 1972
- 58.) OSOLIN,N.G.: Eine Methode zur objektiven Messung der Bewegungsgeschwindigkeit bei leichtathletischen Übungen.
Theorie und Praxis der Körperkultur 11,1953
- 59.) OSOLIN,N.G.: Sprint und Schnelligkeitsausdauer.
Leichtathletik 12 S.416, 1972
- 60.) O'CONNELL,A.L.: A simple method of synchronizing cinomato-graphic and electromyographic data.
Biomechanics II, S.132-137, Karger, Basel-New York, 1968
- 61.) REHS,H.J.,SACK,H.G.: Warum erreichen Läufer Höchstleistung?
Leichtathletik 5, S.161-164, 1972
- 62.) REINDELL,H.,MUSSHOFF,K.,
KLAPZIG,H.: Physiologische und pathophysiologische Grundlagen der Größen- und Formveränderungen des Herzens.
Handbuch der Medizin, Bd.IX/1,4.Auflage,
Springer, Berlin 1960.
- 63.) SCHMITZ,H.: Zeitliche und dynamische Bewegungsmerkmale beim 100 m Lauf.
Diplomarbeit Inst.f.Biomechanik der Deutsche Sport-Hochschule Köln, 1971
- 64.) SCHUPPE,H.: Physik der Leibesübungen.
Enke-Verlag Stuttgart, 1941
- 65.) SMIESKOL,H.: Methoden und Ergebnisse in der allgemeinen Gangforschung und die Psychologie des menschlichen Ganges.
Dipl.Arbeit Psych.Inst.der TU Berlin, 1968
- 66.) SOLIMAN,A.H.: Dynamographische Untersuchung der Stützphase beim Sprint.
Diss. an der DHfK Leipzig/Pädagogik, 1964

- 67.) STEINBACH,M.: Der menschliche Schnellläufer.
Sportarzt und Sportmedizin 1 und 3, Köln,
1966
- 68.) SUSLOW,F.: Gruppeneinteilung und Wirkung des Trainings-
mittels im Mittel- und Langstreckenlauf.
Legskaja Atletika 7, Moskau 1970
- 69.) TSCHUDINOW,W.: Rationelle Methoden der Kraftentwicklung des
Leichtathleten.
Der Leichtathletiktrainer 7, 1960
- 70.) TSCHUDINOW,W.: Die Kraft ist die wichtigste Eigenschaft
des Läufers.
Theorie und Praxis der Körperkultur 4,1960
- 71.) WEBER,W. und E.: Die Mechanik der menschlichen Gehwerkzeuge.
Dietrich, Göttingen, 1836
- 72.) WERSCHOSHANSKIJ,J. Zum Krafttraining des Sprinters.
SEMJONOW,N.: Ljogkaja atletika 8, 11,12, Moskau 1971
- 73.) RATOW,I.P.: Experimentelle Begründung der Anwendungs-
bedingung bei Belastungsübungen im leicht-
athletischen Wurftraining.
Diss.Moskau, 1962
- 74.) POPLOW,U.: Aufgabe und Sinn einer Urgeschichte der
Leibesübungen.
In: Die Leibeserziehung 8, S.309-314,
11, S.353-358, 12, S.382-390, 1959

LEBENS LAUF

Am 5. Februar 1942 wurde ich in Berlin-Adlershof als Sohn des Textilkaufmanns Fritz Fischer und dessen Ehefrau Lucie, geb. Nato geboren. Am selben Ort habe ich von 1947 bis 1955 die Volksschule besucht und die Abschlußprüfung mit dem Prädikat "gut" bestanden. Da ich gesellschaftspolitisch nicht als förderungswürdig galt, wurde mir der Oberschulbesuch untersagt, und ich ging deshalb nach Westberlin auf das Johannes Kepler Gymnasium. 1959 verließ ich meinen Wohnort in Berlin-Ost und siedelte nach Münster in Westfalen, wo ich am Wilhelm Hittorf Gymnasium im April 1961 meine Reifeprüfung absolvierte. 10 Monate reiste ich durch Entwicklungsländer Südamerikas und Ostasiens. Danach habe ich an der Freien Universität Berlin das Studium der Zahnheilkunde aufgenommen. 1963 wurde ich zusätzlich für das Fach Medizin inscribiert. Nachdem ich im April 1964 an der Albert Ludwig Universität in Freiburg inscribiert wurde, habe ich 1966 im November das Staatsexamen für Zahnheilkunde und im Mai 1968 das Staatsexamen für Medizin mit jeweils gutem Prädikat abgeschlossen. Im selben Jahr promovierte ich für das Fach Medizin über Konservierungsfragen des Blutes. Die Frage der Organkonservierung gehört auch heute noch zu meinem wissenschaftlichen Arbeitsgebiet in der Urologie. Nach Abschluß der Examina hatte ich meine Medizinalassistentenzeit in Stuttgart, Aachen, Engelskirchen und Freiburg bis Januar 1970 abgeschlossen.

Danach ging ich 4 Monate in die USA und habe mich an verschiedenen Universitäten über Fragen der Transplantation und Konservierung von Organen informiert. Nach 1 1/2 Jahren Tätigkeit in der Chirurgischen Universitätsklinik Mainz habe ich die Tätigkeit an der Urologischen Universitätsklinik Mainz aufgenommen und strebe an, auf diesem Fachgebiet weiterhin wissenschaftlich tätig zu sein. Aufgrund meiner eigenen aktiven läuferischen Tätigkeit und aus sportärztlichen Erwägungen haben mich Fragen der Bewegungsanalyse besonders interessiert. Aus diesem Grunde wurde von mir der biomechanische Fragenkomplex zusammengetragen und Aspekte für die praktische Tätigkeit in den Sportzentren angegeben.

D.Fischer

Chemoprint-Druck 63 Gießen Frankfurter Str. 129 Ruf (0641) 75712